

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

(підпис) В. І. Мазур
(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація
за освітньо-професійною програмою
Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
зі спеціальності **132 Матеріалознавство**
на тему: Закономірності отримання виробів на основі молібдену методом
електронно-променевого спікання

Виконав магістрант II курсу, групи ФН-81-мп

Бричко Сергій Олександрович

(підпис)

Науковий керівник

доцент, к.т.н. Богомол Ю. І.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант

(Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях)

доцент, к.т.н., Арламов О. Ю.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант

(Організаційно-економічна частина)

доцент, к.е.н., Петренко К. В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль

доцент, к.т.н., Бірюкович Л. О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Магістрант _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет	Інженерно-фізичний
Кафедра	Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	132 МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
Освітньо-професійна програма	Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
Вибірковий блок	Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В.о. завідувача кафедри

Мазур В. І.

(прізвище, ініціали)

(підпис)

“ ”

_____ 2019 р.

З А В Д А Н Н Я

на магістерську дисертацію магістранту

Бричку Сергію Олександровичу

1. Тема дисертації: Закономірності отримання виробів на основі молібдену методом електронно-променевого спікання.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент, Богомол Ю.І. затверджений наказом по університету від 12 листопада 2019 року № 3890-с.

2. Строк подання дисертації: 16.12.2019.

3. Вихідні дані до дисертації: Аналіз сучасного стану виробництва матеріалів на основі молібдену та впровадження нових методів спікання повинно дати можливість сформулювати шляхи отримання виробів з молібдену з вищими техніко-економічними показниками. Технологічні процеси повинні забезпечувати певний рівень найважливіших властивостей виробів на основі молібдену, що

залежать від складу вихідного матеріалу та його структури, що формується у процесі спікання під час виконання магістерської дисертації.

Економічні засади повинні забезпечувати оцінку науково-технічного ефекту не нижчий за 6.

Охорона праці та безпека в надзвичайній ситуації повинні відповідати нормативним вимогам.

4. Зміст пояснювальної записки:

а) провести аналіз сучасного стану теорії і технології отримання матеріалів на основі молібдену з наперед заданими властивостями та високими техніко-економічними показниками їх виготовлення;

б) розробити технологічну схему для виробництва матеріалів на основі молібдену електронно-променевим методом;

в) вивчити закономірності отримання виробів на основі молібдену методом електронно-променевого спікання;

г) визначити шкідливі та небезпечні виробничі фактори;

д) провести розрахунок кількості електроенергії, необхідної для проведення експериментальної частини;

д) розробити заходи для попередження впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів;

е) обґрунтувати необхідну кількість робітників, розмір фонду їх заробітної плати, визначити показники продуктивності праці;

ж) довести ефективність дисертації та розробити стартап-проект.

5. Перелік графічного матеріалу:

– технологічна схема отримання виробів з молібдену методом електронно-променевого спікання;

– мікроструктури спеченого молібдену;

– рентгенограми зразків спеченого молібдену.

6. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічний розділ	Петренко К.В., к.т.н., доцент		
Розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Арламов О.Ю., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: 20.09.2018.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	20.09.18	
2	Опрацювання тематичної літератури	31.05.19	
3	Виготовлення шліфів зразків	02.09.19	
4	Проведення металографічного аналізу	28.09.19	
5	Дослідження механічних властивостей	10.11.19	
6	Проведення рентгено-фазового аналізу	15.11.19	
7	Опрацювання отриманих результатів	06.12.19	
8	Оформлення пояснювальної записки	09.12.19	
9	Захист магістерської дисертації	16.12.19	

Магістрант

С.О. Бричко

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник дисертації

Ю.І. Богомол

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація вміщує: 103 стор., 33 рис., 29 табл., 49 джерел.

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОННИЙ ПРОМІНЬ, МОЛІБДЕН, ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ МОЛІБДЕНУ, ТУГОПЛАВКІ МЕТАЛИ.

У даній роботі викладено огляд сучасного стану теорії і технології отримання компактів молібдену методом електронно-променевого спікання.

Об'єктом дослідження в дисертації є закономірності отримання молібдену методом електронно-променевого спікання.

Метою роботи є вивчення закономірностей отримання виробів на основі молібдену методом електронно-променевого спікання. Дослідження структури й механічних властивостей компактів з молібдену отриманих методом електронно-променевого спікання.

Методи дослідження:

- металографічний аналіз (оптична мікроскопія);
- растрова електронна мікроскопія;
- рентгенівський фазовий аналіз;
- дослідження механічних властивостей.

Методом електронно-променевого спікання було одержано компактний молібден з середньою пористістю 10 %. Дослідження мікроструктури даних зразків дозволило встановити вплив режиму спікання на структуру зразків. Мікроструктури компактів представляють собою однорідні рівновеликі зерна молібдену.

Дослідження мікромеханічних властивостей показало, що твердість за Роквеллом для отриманих компактів залежить від багатьох факторів і для прикладу знижується під час зростання тиску пресування чи збільшенні середньою швидкості нагрівання під час спіканні. Для різних режимів було отриману різну твердість, середнє значення твердості становить 41,2 HRA.

ABSTRACT

Master's thesis contains: 103 pages, 33 figures, 29 tables, 49 references.

ADDITIVE MANUFACTURING, ELECTRON-BEAM, HIGH-MELTING-POINT METAL, POWDER METALLURGY, MOLYBDENUM, TECHNOLOGY OF MOLYBDENUM MANUFACTURING.

The thesis focuses on review of modern state of theory and technology of manufacturing molybdenum compacts using the method of electron-beam sintering.

Object of the thesis research are principles of obtaining compacts molybdenum using the method of electron-beam sintering.

Point of the thesis is the development of technology for electron-beam sintering of molybdenum. Examination of structure and mechanical properties of molybdenum solidities manufactured by electron-beam sintering.

Methods of research:

- metallographic analysis (optical microscopy);
- scanning electron microscope investigation;
- X-ray phase analysis;
- mechanical properties investigation.

By means of electron-beam sintering there was produced a compact molybdenum with mean porosity of 10 %. Examination of the samples' micro-structure enabled to discover the effect of sintering parameters on the sample's structure. Microstructure of solidities appear to be even homogeneous molybdenum grains.

Investigation of mechanical properties discovered that Rockwell hardness of manufactured solidities depends on several factors, e. g. it decreases by increasing the pressure or increasing mean rate of heating during the sintering. Hardness varies for different treatments, mean hardness value is 41,2 HRA.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1 Відомості про електронний промінь	12
1.2 Технологія отримання молібдену.....	13
1.3 Способи отримання компактного молібдену.....	15
1.3.1 Спосіб отримання молібдену методом порошкової металургії.....	15
1.3.2 Спосіб отримання молібдену методом плавки	16
1.4 Високоенергетичні методи компактування порошкових матеріалів	16
1.5 Області застосування молібдену	19
1.5.1 Молібденові прутки	22
1.5.2 Молібденовий дріт	25
1.5.3 Молібденові листи	27
1.6 Загальна характеристика молібдену.....	28
1.7 Фізико - механічні властивості молібдену.....	31
1.8 Хімічні властивості молібдену	32
1.9 Властивості оксидів молібдену	36
1.10 Висновки та постановка задач дослідження	38
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
2.1 Методика проведення експерименту	40
2.2 Вихідні матеріали.....	40
2.3 Отримання молібдену методом електронно променевого спікання	41
2.4 Спікання молібдену електронним променем.....	45
2.5 Металографічні дослідження молібдену	47
2.6 Рентгенофазовий аналіз	48
2.7 Вимірювання твердості.....	52
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	66
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ).....	66
4.2 Безпека технологічного процесу та обладнання	69

4.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях	71
4.4 Висновки	72
5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	73
6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	76
6.1 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	76
6.1.1 Витрати на оплату праці	76
6.1.2 Єдиний соціальний внесок	78
6.1.3 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі	79
6.1.4 Витрати на спеціальне обладнання та прилади	79
6.1.5 Витрати на службові відрядження	80
6.1.6 Інші прямі невраховані витрати	80
6.1.7 Накладні витрати	80
6.2 Планова кошторисна вартість магістерської дисертації	81
7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	82
7.1 Науково-технічна актуальність ДР	82
7.2 Мета і завдання дипломної роботи	83
7.3 Економічна ефективність ДР	83
7.4 Висновки	85
8 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	86
8.1 Актуальність	86
8.2 Мета і завдання стартап проекту	86
8.3 Опис ідеї проекту	87
8.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	88
8.5 Розроблення ринкової стратегії проекту	93
8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	94
8.7 Формування системи збуту	95
8.8 Висновки до розділу	96
ВИСНОВКИ	97
CONCLUSIONS	98
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	99

ВСТУП

За даними інвестиційного фонду "Sprott Molybdenum Corp." (Торонто, Канада) [1], світове споживання молібдену збільшується на 6 % в рік. Головний виконавчий директор фонду Ерік Спротт зазначив, що стрімке зростання виробництва нержавіючої сталі випереджає зростання виробництва молібдену у найближчому майбутньому до запуску не планується жодного великого молібденового проекту. Тому напруженість на світовому ринку молібдену, на думку Е. Спратта, буде тільки зростати [1].

Значного поширення набувають адитивні технології, це одна з найбільш перспективних технологій у виробництві деталей та частин конструкцій складної форми. Одним з методів адитивного виробництва є спікання металевих порошків високоенергетичними джерелами, тобто лазером чи електронним променем.

Дана технологія має ряд недоліків, як от висока вартість, низька швидкість утворення заготовки, за рахунок, малої товщини шару, необхідність скріплення шарів порошків між собою, додатковий механізм для нанесення і вирівнювання шару порошків. Вирішити ці проблеми можна використавши класичні методи формування порошків. Якщо сформувати порошок у компакт необхідної форми і спекти з використанням високоенергетичного джерела ми значно виграємо у швидкості, однак дана технологія потребує дослідження оскільки необхідно оцінити повноту проходження процесів під час спікання, а також дослідити механізми спікання для, отримання виробів з заданими властивостями і підвищеними фізико-механічними характеристиками.

Приведена інформація, показує, що для покращення фізико-механічних властивостей деталей та частин конструкцій з молібдену актуальним є дослідження нових методів виготовлення металевих виробів з наперед заданими властивостями, які дозволять зменшити час виробництва та є економічно і екологічно доцільними для впровадження на сучасних виробництвах. Отримання достовірних даних про повноту проходження процесів спікання і дослідження рушійних сил та механізмів

спікання, які виникають під час спікання компактів з моібдену електронним променем є одним з основних напрямків даного дослідження.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Відомості про електронний промінь

Електронний промінь – потік електронів, що випускаються одним джерелом і рухаються по близьким траєкторіям в певному напрямку. Під час бомбардування електронами поверхні металу більша частина їх кінетичної енергії перетворюється в теплоту, яку використовують для розплавлення металу.

Електронний промінь створюється у спеціальному приладі – електронній гарматі, за допомогою якої отримують вузькі електронні пучки з великою щільністю енергії [2].

Розвиток електронної техніки дозволив отримувати електронні промені високої потужності, енергія яких достатня для реалізації багатьох технологічних процесів. На даному етапі електронно променева технологія сформулювалася як окрема область науки і техніки.

Електронний промінь як технологічний інструмент дозволяє виконувати нагрів, плавку і випаровування практично всіх матеріалів, зварювання, обробку і нанесення покриттів, а також запис інформації. Така універсальність дає можливість використовувати одне і теж обладнання для різних цілей і поєднувати в одному циклі різні технологічні процеси.

Формування електронного променя для технологічних цілей можна представити наступними стадіями:

- а) отримання вільних електронів;
- б) прискорення електронів електростатичним чи електромагнітним полем і формування електронного пучка;
- в) зміна поперечного перерізу пучка, фокусування;
- г) відхилення променя, забезпечення необхідної траєкторій;
- д) взаємодія променя з поверхнею.

Джерелом електронів в електронних гарматах зазвичай служить термоемісійний катод, який виконується з вольфраму, танталу або гексабориду лантану, що володіють високими емісійними характеристиками. Залежно від

матеріалу катода його робоча температура може досягати від 2400 К до 2800 К . Підігрів катода найчастіше здійснюється за допомогою розжарюваного електричним струмом елемента, причому в деяких випадках сам цей елемент може виконувати функції катода (катод прямого напруження).

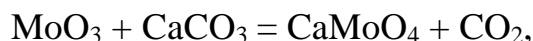
Слід зазначити, що в робочому просторі електронної гармати необхідний вакуум, так як за великі кількості молекул залишкових газів вони перешкоджають вільному проходженню електронів через їх взаємні зіткнень. Крім того, умови роботи підігрітого катода також вимагають захисту його від взаємодії з атмосферними газами. Робочий вакуум в електронній гарматі повинен бути не гірше від 10^{-3} Па до 10^{-4} Па. Під час зменшення вакууму відбувається пробій між катодом і анодом електронної гармати, що може привести до виходу з ладу високовольтного випрямляча [3].

1.2 Технологія отримання молібдену

Молібден отримується шляхом окисного відпалу стандартних молібденітових концентратів, в складі яких вміст чистої речовини, без урахування присутніх домішок, досягає близько 50 %. Під час даного процесу температура підтримується в діапазоні від 570 °С до 600 °С. Для цього використовуються багатопіддонні печі або печі киплячого шару.

Однак, це, можна сказати, фінішна пряма на шляху отримання речовини. Попереднім цього етапом є збагачення руди флотаційним методом. Перед флотацією здійснюється дроблення руди. Даний процес дозволяє на виході отримати концентрат, в якому міститься близько 10 % речовини. Після цього здійснюється наступний етап флотації вже отриманого концентрату - селективна, під час якої застосовуються спеціальні реагенти, в результаті чого шляхом селективного відділення від інших сульфідів вдається отримати MoS_2 . Для отримання молібденового концентрату високої якості, вміст молібдену в якому досягає значень від 48 % до 58 %, весь виробничий цикл повторюється 5-6 разів, використовуючи при цьому проміжне подрібнення.

Головне місце серед всіх етапів хімічної переробки концентрату відводиться відпалу, що дозволяє видалити небажані домішки у вигляді сірки, води, а також залишкових частинок флотореагентів. У разі присутності в складі концентрату ренію, під час випалу виходить летючий оксид Re_2O_7 , віддаляється разом з пічними газами. Таким чином, під час випалюванні дисульфід молібдену окислюється до триоксиду $2\text{MoS}_2 + 7\text{O}_2 = 2\text{MoO}_3 + 4\text{SO}_2$. Крім цього, в процесі також відбувається багато побічних реакцій, які мають істотний вплив на подальше отримання молібдену.



На те, наскільки ефективним буде випал, впливає ряд факторів, основним з яких виступає ступінь подрібнення концентрату. Отриманий з вмістом молібденового ангідриду недогарок перекладається в парамолібдат амонію або чистий MoO_3 , які в наслідку дозволяють отримати будь-які молібденові з'єднання, навіть з максимальним очищенням.

Під час отримання металу також користується популярністю аміачний спосіб, суть якого полягає в розчиненні молібденового ангідриду в 10 % водному аміаку. При цьому велика частина які в огарки домішок, залишаються нерозчинених. Цей метод за певних умов дозволяє отримати близько 90 % молібдену. Та частина MoO_3 , яка залишилася в огарках, переробляється додатково.

Ще одним способом, що дозволяє отримати метал, є сублімація з огарків за температур від $900\text{ }^\circ\text{C}$ до $1000\text{ }^\circ\text{C}$. За допомогою даного методу можливо отримати на 99,95 % чистий MoO_3 . Для отримання металевого молібдену використовується відновний метод, коли відновлення MoO_3 відбувається в струмені сухого водню. Для цього процесу застосовують спеціальні трубчасті печі, температура в яких сягає на першій стадії відновлення $700\text{ }^\circ\text{C}$, а на другій – $1000\text{ }^\circ\text{C}$ [4].

1.3 Способи отримання компактного молибдену

1.3.1 Спосіб отримання молибдену методом порошкової металургії

Даний спосіб отримання ковкого молибдену є найбільш поширеним, оскільки дозволяє більш рівномірно розподіляти присадки, які покращують фізико-механічні властивості молибдену. У якості присадок можуть використовуватися титан (Ti), цирконій (Zr), ванадій (V) та інші метали.

Процес отримання компактного молибдену методом порошкової металургії складається з декількох стадій:

- пресування компактів з металевого порошку - формування;
- низькотемпературне (попереднє) спікання заготовок;
- спікання заготовок;
- обробка заготовок з метою отримання напівфабрикатів - молибденового дроту, прутків та інших напівфабрикатів; зазвичай заготовки обробляють під тиском (куванням) або піддають механічній обробці різанням (наприклад, шліфування, полірування).

За допомогою методу гідростатичного пресування металевий молибден у вигляді порошку формують в компакти перетином від 2 мм до 16 мм і довжиною від 450 мм до 600 мм. Заготовки, маса яких досягає 300 кг, формують методом гідравлічного пресування. Варто зауважити, що спресовані молибденові компакти міцніші вольфрамових внаслідок меншого розміру зерен молибденового порошку і більшої пластичності молибдену.

Попереднє спікання компактів зазвичай проводять в муфельних або трубчастих печах за температур від 1110 °C до 1200 °C. Спікання здійснюють за температур від 2200 °C до 2400 °C у спеціальних апаратах для високотемпературного спікання. Якщо заготовки великогабаритні, то для їх спікання краще використовувати піч з непрямым нагріванням. Прикладом подібної печі є вакуумна піч безперервної дії для високотемпературного спікання зразків непрямым нагріванням, де в якості нагрівачів використовуються графітові стрижні.

Варто зауважити, що попереднє спікання зразків здійснюється в середовищі водню, що сприяє зміцненню заготовки та підвищенню електропровідності [5]

1.3.2 Спосіб отримання молібдену методом плавки

Плавка використовується для отримання компактного молібдену у вигляді великогабаритних заготовок від 200 кг до 2000 кг, призначених для прокату, витяжки труб, виробництва виробів методом лиття. Здійснюється плавка в електричних дугових печах з витратним електродом або електронно-променевою плавкою. У результаті плавки отримують молібденові злитки.

Під час дугової плавки в якості електродів служать пакети спечених молібденових прутків, які, в свою чергу, отримують шляхом спікання компактів. Подібні прутки, як правило, мають довжину від 1 м до 2,5 м і об'єднуються в пакети по 4-16 прутків, а в деяких випадках і більше.

Після дугової плавки молібденові злитки містять такі домішки (приблизно),: $3 \cdot 10^{-4} \% \text{ O}_2$, $2 \cdot 10^{-5} \% \text{ H}_2$, $3 \cdot 10^{-4} \% \text{ N}_2$. У результаті електронно-променевої плавки вдається позбутися від великої кількості домішок, серед яких кисень, азот, вуглець, залізо, мідь, нікель, марганець, кобальт. Варто зауважити, що під час отримання молібденових злитків будь-яким з наведених способів для глибокого очищення молібдену від кисню (вміст у металі $< 0,0001 \%$) необхідно вводити розкислювач. Як розкислювач зазвичай виступають такі елементи, як титан, цирконій або вуглець [5].

1.4 Високоенергетичні методи компактування порошкових матеріалів

На даному етапі розвитку суспільства адитивні технології є одним з найбільш перспективних методів виготовлення виробів.

Адитивні технології (3D-друк) – одна з форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі. Друк

здійснюється спеціальним пристроєм – 3D-принтером, який забезпечує створення фізичного об'єкта шляхом послідовного накладання пластичного матеріалу на основі віртуальної 3D-моделі. 3D-принтери, як правило, швидші, більш доступні і простіші у використанні, ніж інші технології адитивного виробництва. 3D-принтери пропонують розробникам продуктів можливість друку деталей і механізмів з декількох матеріалів та з різними механічними і фізичними властивостями за один процес складання.

3D друк часто називають «магічною» технологією, оскільки дозволяє перетворювати, отримані в CAD-системах в готові вироби. У реальності процес 3D-друку вимагає також багато ручної праці, що включає попередню підготовку і подальшу обробку надрукованих деталей для досягнення їх бажаної якості.

У випадку металів з'єднання шарів порошку відбувається за рахунок високоенергетичних джерел, таких як лазер чи електронний промінь. Для тугоплавких металів доцільно використовувати електронний промінь, який має більшу потужність [6].

Електронно-променевоє спікання – це метод сплавлення порошкового шару, подібний до SLM (selective laser melting). У цьому процесі високоенергетичний електронний пучок сканується через тонкий шар металевого порошку, викликаючи місцеве розплавлення і повторне затвердіння. Потім тонким шаром порошку наноситься поверхня за допомогою склоочисника або фрезерної головки, і процес повторюється до завершення об'єкта. Для підтримки стабільної рівномірної температури протягом всього споруди підкладку нагрівають перед укладанням порошкового шару. Робота за підвищених температур призводить до більш схожої структури зерна з литими мікроструктурами. Як і в інших адитивних виробничих процесах, для створення коду для керування електронним пучком використовується твердотільна модель CAD. Схему процесу електронно-променевого спікання наведено на рисунку 1.1 [7].

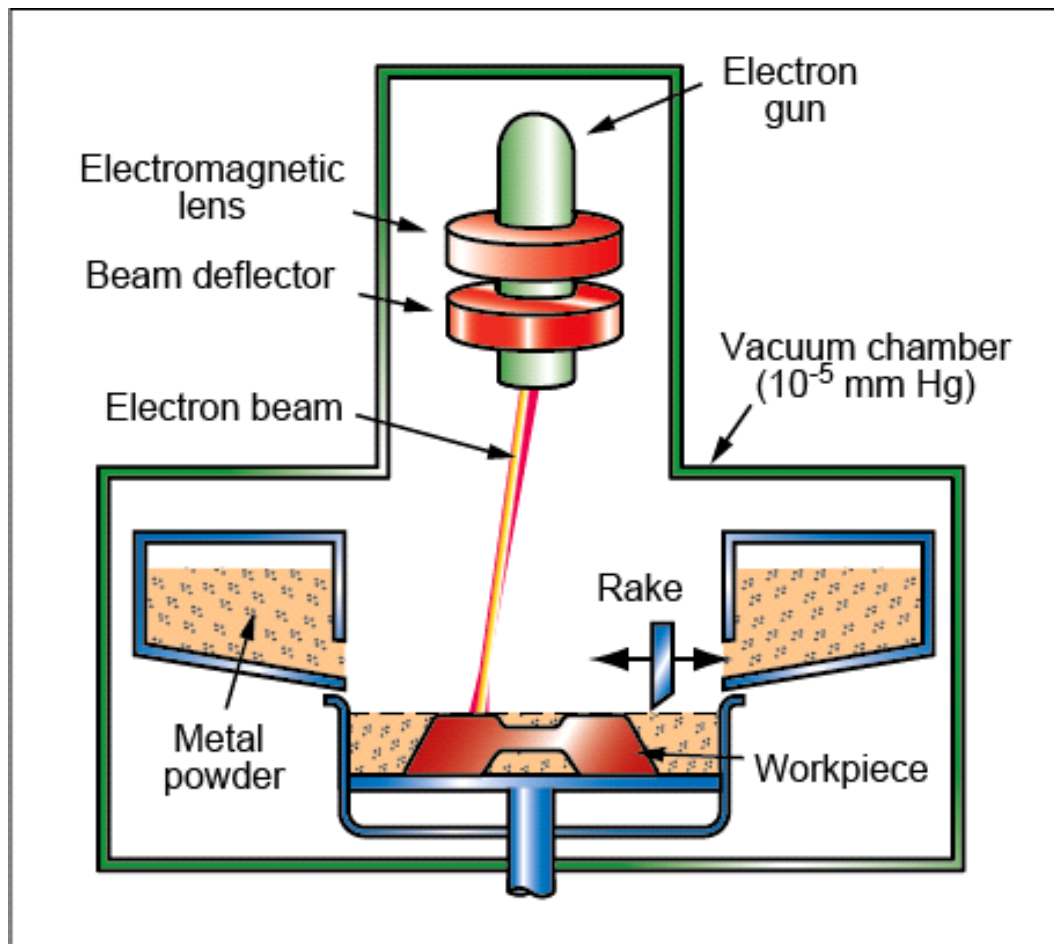


Рисунок 1.1 – Схема процесу електронно-променевого спікання [7]

Мінімальний розмір, роздільна здатність та обробка поверхні більше, ніж SLM, але цей процес також виробляє повністю щільні заготовки без пор. Інколи для побудови потрібні опорні структури (які можуть бути зняті пізніше) на додаток до основного об'єкту. Типова товщина шару становить від 50 мкм до 150 мкм. Об'єкт створюється зі швидкістю близько від 55 см³ до 80 см³ на годину.

Процес обмежується провідними матеріалами, доступними у вигляді порошку, і діє у вакуумі з низьким парціальним тиском.

Типове використання: ортопедичні імпланти, машинобудівна галузь; аерокосмічна промисловість. Розплавлення порошкового шару є найдорожчим видом виробництва присадки внаслідок інертного середовища, в якому він повинен працювати. Генерація електронного променя є більш ефективною від 70 % до 80 %, ніж генерація лазерного променя від 10 % до 20 %.

Як бачимо у цій технології є ряд недоліків, як от висока вартість, низька швидкість утворення заготовки, за рахунок, малої товщини шару, необхідність скріплення шарів порошку між собою, додатковий механізм для нанесення і вирівнювання шару порошку. Вирішити ці проблеми можна використавши класичні методи формування порошків. Якщо сформувати порошок у компакт необхідної форми і спекти з використанням високоенергетичного джерела ми значно виграємо у швидкості, однак дана технологія потребує дослідження оскільки необхідно оцінити повноту проходження процесів під час спікання, а також дослідити механізми спікання для, отримання виробів з заданими властивостями і підвищеними технічними характеристиками [7].

Важливим є визначення механізму спікання який проходить під час використання електронного променя, оскільки саме це є основним для розробки технології виготовлення компактного молібдену з наперед заданими властивостями.

1.5 Области застосування молібдену

Молібден знайшов широке застосування у різних галузях техніки.

Близько 86 % виробленого молібдену використовується в металургії, решта використовується в хімічній промисловості. У глобальному використанні поділяється: конструкційна сталь 35 %, нержавіюча сталь 25 %, хімічна продукція 14 %, інструментальна та швидкісна сталі 9 %, чавун 6 %, чистий молібден 6 %, суперсплави 5 % [8].

Молібден може витримувати екстремальні температури без істотного розширення або пом'якшення, що робить його корисним у середовищах інтенсивного нагрівання, включаючи військові броні, частини літаків, електричні контакти, промислові двигуни та нитки [9].

Більшість високоміцних сталевих сплавів (наприклад, сталь 41xx) містять від 0,25 % до 8 % молібдену. Навіть у цих невеликих порціях більше 43 000 тонн

молібдену використовуються щорічно в нержавіючих сталях, інструментальних сталях, чавунах і високотемпературних суперсплавах [9].

Молібден також цінується в сталевих сплавах за його високу корозійну стійкість і зварюваність [9]. Молібден сприяє корозійній стійкості для нержавіючих сталей типу 300 (конкретно типу 316) і особливо в так званих супераустиєних нержавіючих сталях (таких як сплав AL-6XN, 254SMO і 1925hMo). Молібден збільшує деформацію решітки, тим самим збільшуючи енергію, необхідну для розчинення атомів заліза з поверхні. Молібден також використовується для підвищення корозійної стійкості феритних і мартенситних нержавіючих сталей.

Через низьку густину і більш стабільну ціну молібден іноді використовується замість вольфраму. Прикладом є серія «М» швидкорізальних сталей, таких як M2, M4 і M42, як заміни для серії «Т», які містять вольфрам. Молібден також може бути використаний як вогнестійке покриття для інших металів. Хоча температура плавлення становить 2,623 °C (4,753 °F), молібден швидко окислюється за температур вище 760 °C (1400 °F), що робить його більш придатним для використання у вакуумних середовищах [9].

TZM (Mo ~ 99 %), Ti (~ 0,5 %), Zr (~ 0,08 %) і деяка частина C) є корозійно-стійким молібденовим суперсплавом, який витримує розплавлені фтористі солі за температури вище 1300 °C (2370 °F). Вона має приблизно в два рази більшу міцність ніж в чистого Mo і є більш пластичною і більш зварюваною, але в тестах вона чинила опір корозії стандартної солі евтектики (FLiBe) і сольових парів, що використовуються в реакторах розплавленої солі протягом 1100 годин з такою малою корозією, що її було важко виміряти [10].

Інші сплави на основі молібдену, які не містять заліза, мають обмежене застосування. Наприклад, через його стійкість до розплавленого цинку, як чисті молібденові, так і молібден-вольфрамові сплави (70 % / 30 %) використовуються для трубопроводів, мішалок і робочих коліс насосів, які контактують з розплавленим цинком. Інше застосування як чистий елемент.

Молібденовий порошок використовується як добриво для деяких рослин, таких як цвітна капуста.

Елементарний молібден використовується в аналізаторах NO, NO₂, NO_x на електростанціях для контролю забруднення, за температури 350 °C (662 °F) елемент діє як каталізатор для NO₂ / NO_x для утворення молекул NO для виявлення інфрачервоним світлом [10].

Молібденові аноди замінюють вольфрам в деяких рентгенівських джерелах низької напруги для спеціальних застосувань, таких як маммографія.

Радіоактивний ізотоп молібден-99 використовують для отримання технецію-99m, що використовується для медичної візуалізації. Ізотоп обробляють і зберігають як молібдат. Сполуки молібдену займають 14 % загального використання [11].

Дисульфід молібдену (MoS₂) використовують як твердий мастильний матеріал і високотемпературний (НРНТ) антифрикційна добавка. Утворює міцні плівки на металевих поверхнях і є загальною добавкою до мастил НРНТ - у разі катастрофічного змащення мастилом тонкий шар молібдену запобігає контакту змащених деталей. Він також має напівпровідникові властивості з вираженими перевагами перед традиційним кремнієм або графеном в електронних додатках. MoS₂ також використовується як каталізатор у гідрокрекінгу нафтових фракцій, що містять азот, сірку та кисень.

Дисилицид молібдену (MoSi₂) - це електропровідна кераміка з первинним використанням в нагрівальних елементах, що працюють за температур вище 1500 °C на повітрі.

Триоксид молібдену (MoO₃) використовується як адгезив між емалями та металами. Свинцевий молібдат (wulfenite), спільно осаджений з хроматом свинцю і сульфатом свинцю, є яскраво-оранжевим пігментом, що використовується з керамікою і пластмасою.

Змішані оксиди на основі молібдену є універсальними каталізаторами в хімічній промисловості. Деякими прикладами є каталізатори селективного окислення пропілену до акролеїну і акрилової кислоти, амоксидування пропілену до акрилонітрилу. Досліджуються відповідні каталізатори та процес прямого селективного окислення пропану до акрилової кислоти [12].

Як конструкційний матеріал молібден застосовується у вигляді прутків, молібденового дроту, листи та у якості порошку [5].

1.5.1 Молібденові прутки

Молібденові прутки – один з найпоширеніших видів продукції з тугоплавкого металу молібден. Крім самостійного призначення прутки з молібдену (рис.1.2) також можуть служити заготовками для виготовлення дроту.

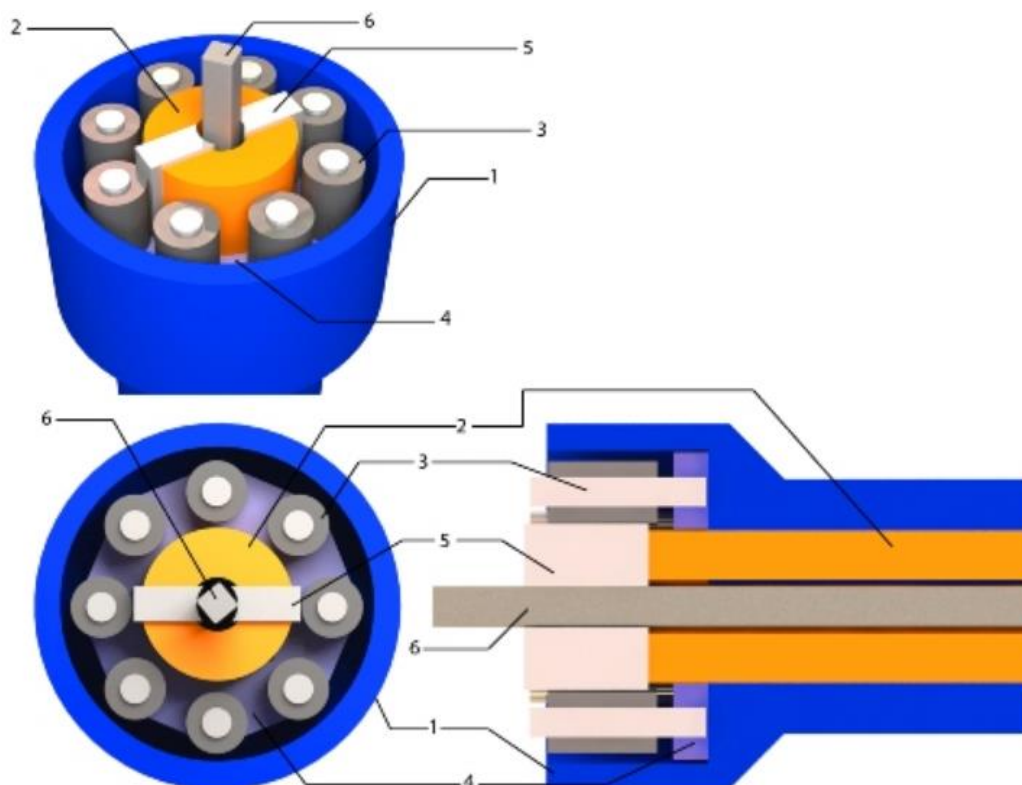


Рисунок 1.2 – Зображення молібденових прутків отриманих ротаційним куванням [5]

Вихідними матеріалами для виробництва прутків є спечені молібденові заготовки квадратного перетину зі стороною 40 мм і менше, а також злитки плавленого молібдену різних розмірів.

У процесі отримання молібденових прутків із заготовок, останні піддаються ротаційної куванні, схема установки зображена на рисунку 1.3. Кування молібденових прутків здійснюється в кілька етапів. На кожному етапі отримують прутки певних діаметрів, за цих умов кування спеціальним чином змінюються в залежності від діаметра заготовки.

На першому етапі заготовки нагрівають до температур від 1350 °С до 1400 °С. Безпосередньо ковку здійснюють за температур близько 1300 °С. У результаті термічної обробки щільність пористих заготовок збільшується, а пори на границях зерен всередині кристалів зникають [5].



1 – станина; 2 – вал; 3 – ролики; 4 – сталевий тримач; 5 – кувальні плашки;
6 – спечена заготовка

Рисунок 1.2 – Будова ротаційної машини для кування [5]

У результаті міцність матеріалу на розтяг різко підвищується і в кілька разів перевершує міцність спеченої заготовки. Як правило, для нагріву використовуються печі опору з нагрівачами з молібдену і водневої атмосферою. Для підігріву великих заготовок іноді застосовують муфельні печі, в які в залежності від розмірів муфеля можна поміщати одночасно декілька заготовок. Печі розміщуються поруч з кувальною машиною, щоб уникнути надмірного охолодження заготовок під час їх вилучення з печі і введення в робочий канал машини. Подача заготовок в кувальний машину здійснюється вручну. На даному етапі отримують прутки, діаметр яких становить від 20 мм до 25 мм. На наступних

етапах температуру кування поступово зменшують зі зменшенням діаметра прутків. Ковку прутків, що мають діаметр від 2,5 мм до 3 мм, здійснюють за температури від 950 °C до 1000 °C [5].

Коли довжина прутків значно зростає, переходять на безперервну ковку. Даний перехід здійснюють якщо діаметр прутка 3 мм за умови, що вихідними заготовками були прутки перетином 10 мм x 10 мм або 12 мм x 12 мм. Подача прутків в кувальний машину здійснюється механічно, а для підігріву використовується газова піч. Під час безперервного кування прутки покривають змазкою - аквадагом або гідроколлагом (водні колоїдні суспензії графіту). Мاستило оберігає пруток від окислення і зменшує знос матриць кувальної машини.

До недоліків ротаційного кування можна віднести трудомісткість процесу і нерівність поверхні одержуваних прутків. Під час нагрівання заготовок виникають значні втрати молібдену внаслідок його окислення. Для зниження втрат і поліпшення пластичних властивостей молібдену розроблені процеси кування в атмосфері інертного газу.

Крім спечених компактів заготовками для виробництва молібденових прутків можуть служити злитки. Злитки плавленого молібдену мають грубу грубозернисту структуру і значно важче піддаються обробці тиском, ніж спечені заготовки. Тому гарячу ковку можна застосовувати тільки для злитків діаметром до 100 мм. Кування здійснюється за температур від 1400 °C до 1450 °C. Заготовки діаметром 150 мм і більше обробляють методом пресування. Кування таких заготовок може привести до утворення тріщин.

Перед пресуванням злиток нагрівають до температури 760 °C, покривають спеціальною емаллю, на яку потім нокаутувати тонкоподрібненого скло. Скло в даному випадку виступає в якості мастила. Потім заготовку нагрівають до 1260 °C і ще раз покривають склом. Далі здійснюється пресування. Після пресування злитки піддають гарячій куванні за температури 1425 °C. У отриманого в результаті кування прутка обрізають кінці. Потім пруток обточують на глибину до 25 мм з метою видалення скла і шару окалини. Надалі прутки можуть піддаватися куванні для отримання необхідного розміру [5].

Молібденові прутки можуть використовуватися в якості таких нагрівачів. Як правило, нагрівачі з молібденових прутків є вільно випромінювальними, тобто тепло передається від нагрівача безпосередньо нагрівається виробу, за рахунок чого досягається більш ефективне використання потужності печі. Кріплення таких нагрівальних елементів має бути дуже надійним, щоб виключити їх провисання. Нагрівачі з молібденових прутків володіють високою міцністю. Вони використовуються в високотемпературних електричних печах, що володіють великою потужністю.

Молібденові прутки застосовуються для виготовлення ввідів електровакуумних приладів. Широке поширення в даній області прутки з молібдену отримали завдяки тому, що даний метал має досить високу електропровідність і малий коефіцієнт термічного розширення, відмінно узгоджується з коефіцієнтом термічного розширення тугоплавкого скла, з якого зроблені корпуси електровакуумних приладів. Прутки з молібдену застосовують для виготовлення ввідів, розрахованих на велику силу струму, наприклад, для ввідів скляних вентилів.

Однією з найбільш важливих областей застосування молібденових прутків є виробництво дроту, де молібденові прутки виступають в якості заготовок [5].

1.5.2 Молібденовий дріт

Молібденовий дріт – один з найпоширеніших видів продукції з даного тугоплавкого металу. Вихідними матеріалами для виробництва дроту з молібдену є прутки. Діаметр таких прутків зазвичай становить менше 3 мм.

Дріт отриманий з таких прутків зображено на рисунку 1.4

За такого діаметру молібденові прутки мають достатню пластичність, щоб їх можна було намотувати на барабан або котушку для подальшого виготовлення дроту методом протягування.

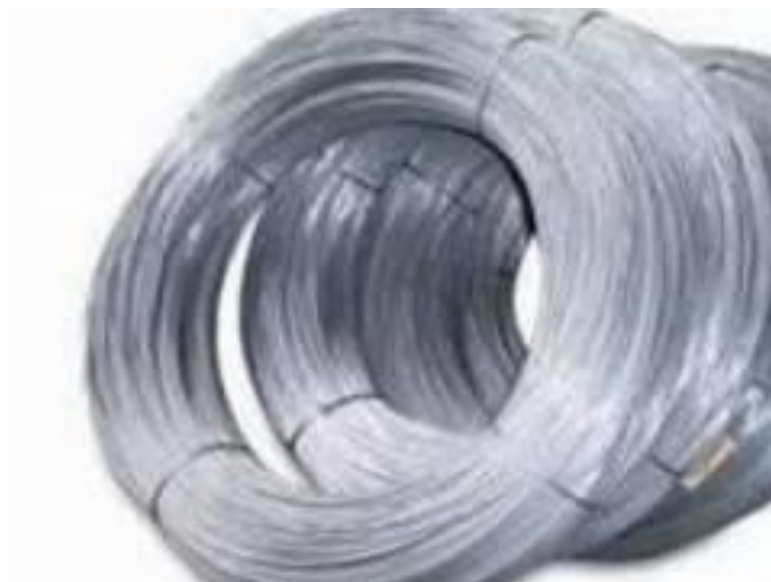
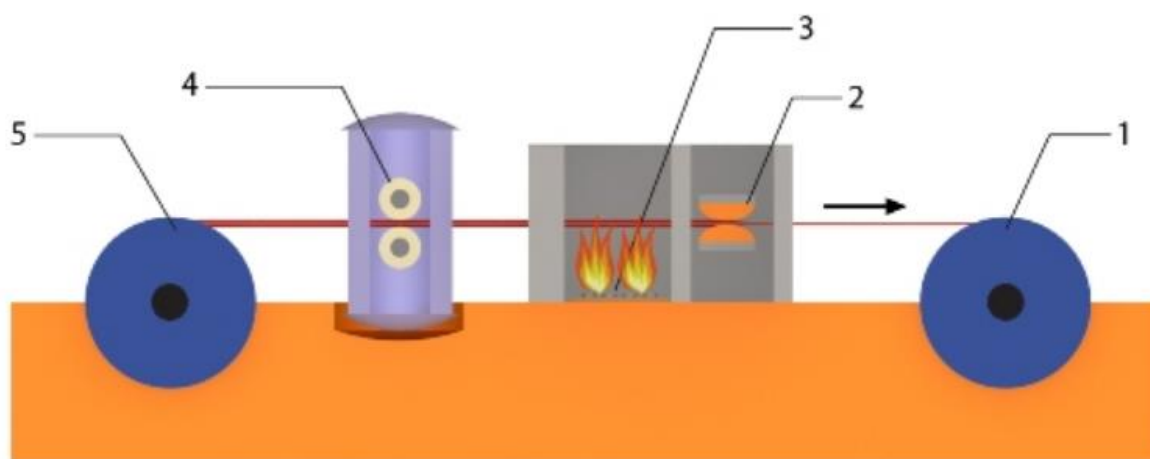


Рисунок 1.4 – Дріт отриманий протягуванням молібденових прутків [5]

Принципова схема установки для протягування молібденового дроту представлена на рисунку 1.5.



1 – ведучий барабан; 2 – філь'єра; 3 – газова піч; 4 – змащувальна коробка;
5 – спускний барабан

Рисунок 1.5 - Схема установки для протягування молібденового дроту [5]

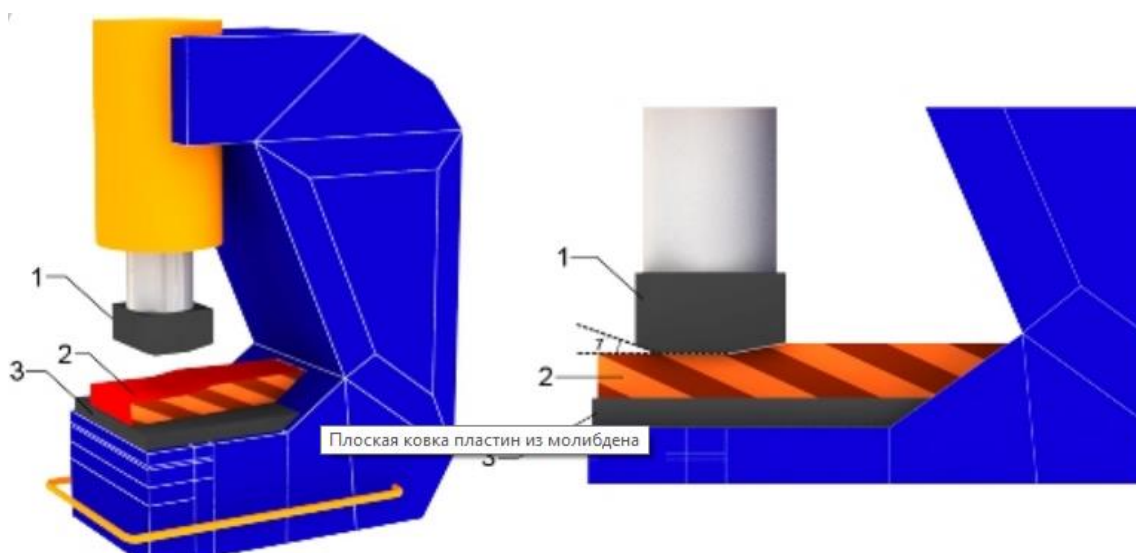
Даний спосіб дозволяє отримати дріт різного діаметру, мінімальний діаметр становить від 0,012 мм до 0,010 мм. Для виготовлення більш тонкого дроту застосовують методи хімічного або електролітичного травлення. Вихідним матеріалом для зазначених способів є дріт більшого діаметру, ніж той, який потрібно отримати.

Протяжку здійснюють в декілька етапів. На кожному етапі отримують молибденовий дріт певних діаметрів, за цих умов протягання дещо змінюються в залежності від діаметра, який потрібно отримати. У загальному випадку зі зменшенням діаметра дроту зменшується температура і збільшується швидкість протягання, зменшення діаметра за один перехід становить, як правило від 10 % до 20 % [5].

1.5.3 Молибденові листи

Як правило, плоский прокат з молибдену - лист, стрічка, смуга, пластина, фольга - отримують застосуванням двох операцій - плоска кування і плющення. Як заготовки використовуються молибденові компакти різних розмірів.

Найбільш поширеними заготовками для отримання молибденових пластин товщиною від 2 мм до 8 мм є молибденові заготовки прямокутного перетину з розмірами 25 мм х 25 мм, 12,5 мм х 12,5 мм і 8 мм х 8 мм. Плоску ковку таких заготовок, як правило, здійснюють пневматичні молоти [5]. Схематичне зображення молота представлено на рисунку 1.6.



1 – молот; 2 – молибденова заготовка; 3 – ковадло

Рисунок 1.6 – Схема пневматичного молота [5]

1.6 Загальна характеристика молібдену

Молібден — метал перехідної групи елементів. Чистий метал сріблясто-білого кольору (рис. 1.7) є досить м'яким та має одну з найвищих температур плавлення з усіх чистих елементів [13].



Рисунок 1.7 – Чистий молібден та куб об'ємом 1см^3 з молібдену

У малих кількостях, молібден використовується для ефективного зміцнення сталі. Молібден займає важливу роль у вирощуванні рослин, а також його наявність є необхідною в їжі тварин та людей. Виявлено, що він відіграє активну роль у деяких ферментах, включаючи оксидазу ксантину. Чистий метал має тенденцію до розшаровування під час механічної обробки.

Відкрито в 1778 році шведським хіміком Карлом Шеєле, який, прожарюючи молібденову кислоту, отримав MoO_3 . У металевому стані вперше отриманий П. Гьєльмом в 1781 р відновленням оксиду вугіллям: він отримав молібден, забруднене вуглецем і карбідом молібдену. Чистий молібден в 1817 році отримав Й. Берцеліус відновленням оксиду воднем [15].

Назва походить від грец. $\mu\omicron\lambda\upsilon\beta\delta\omicron\varsigma$, що означає «свинець». Воно дано через зовнішньої схожості молібденіту (MoS_2), мінералу, з якого вперше вдалося виділити оксид молібдену, зі свинцевим блиском (PbS). Аж до XVIII ст. молібденіт

не відрізняється від графіту через свинцевого блиску, ці мінерали носили загальну назву «молібден» [15].

Вміст у земній корі - $3 \cdot 10^{-4}$ % по масі. У вільному вигляді молібден не зустрічається. У земній корі молібден поширений відносно рівномірно. Найменше містять молібдену ультра основні і карбонатні породи від 0,4 г/т до 0,5 г/т. Концентрація молібдену в породах підвищується в міру збільшення SiO_2 . Молібден знаходиться також в морській і річковій воді, в золі рослин, в вугіллі і нафти. Зміст молібдену в морській воді коливається від 8,9 мкг/л до 12,2 мкг/л для різних океанів і акваторій. Спільним є те, що води поблизу берега і верхні шари менше збагачені молібденом, ніж води на глибині і далеко від берега. Найбільш високі концентрації молібдену в породах пов'язані з акцесорними мінералами (магнетит, ільменіт, Стено), однак основна маса його укладена в польового шпату і менше в кварці. Молібден в породах знаходиться в наступних формах: молібдатного і сульфідної у вигляді мікроскопічних і субмікроскопічних виділень, ізоморфною і розсіяною (в породоутворюючих мінералах). Молібден має більшу спорідненість з сіркою, ніж з киснем, і в рудних тілах утворюється сульфід чотирьохвалентного молібдену - молібденіт. Для кристалізації молібденіту найбільш сприятливі відновне середовище і підвищена кислотність. У поверхневих умовах утворюються переважно кисневі сполуки Mo^{6+} . У первинних рудах молібдену зустрічається в асоціації з вольфрамітом і вісмутином, з мінералами міді (мідно-порфірові руди), а також з галенітом, сфалеритом і уранової смолкою (в низькотемпературних гідротермальних родовищах). Хоча молібденіт вважається стійким сульфідом по відношенню до кислих і лужних розчинників, в природних умовах при тривалій дії води і кисню повітря молабденіт окислюється, і молібден може інтенсивно мігрувати з утворенням вторинних мінералів. Цим можна пояснити підвищені концентрації молібдену в осадових відкладеннях - вуглистих і кремнисто-вуглистих сланцях і вугіллі.

Відомо близько 20 мінералів молібдену. Найважливіші з них: молібденіт MoS_2 (60 % Mo), повелл CaMoO_4 (48 % Mo), $\text{Fe}(\text{MoO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (60 % Mo) і вульфеніт PbMoO_4 [4].

Світові ресурси молібдену, які виявлено в 37 країнах, становлять від 28220 тис. т до 29440 тис. т (за різними джерелами). За період з 1993 року до 1997 року, вони збільшилися на 15,5 % за рахунок приросту виявлених і прогнозних ресурсів в основному в країнах Південної Америки – Чилі, Аргентині і Перу, а також у Монголії і Канаді. Велика частина світових ресурсів зосереджена в Америці – 20800 тис.т (73,7 %). В Азії їх 5150 тис.т (18,2 %), в Європі – 1640 тис. т (5,8 %), в Австралії і Океанії – 530 тис. т (1,9 %), в Африці – бл. 100 тис.т (0,4 %). Розподіл ресурсів по континентах в останні роки істотно не змінився: частка Америки збільшилася на 1 %, частка Європи скоротилася на 0,8 %.

Загальні запаси молібдену, враховані в 27 країнах світу (без Росії), на 1998 рік оцінювалися в 13730 тис.т (у 2005 р., за оцінкою Геологічної служби США, – 18400 тис.т), в тому числі підтверджені 8896 тис.т, або 64,8 %. Частка загальних запасів в світових ресурсах становить 48,7 %, підтверджених – 31,5 %. Найбільші запаси мають вісім країн, на частку яких припадає 79,2 % загальних і 85,4 % підтверджених світових запасів молібдену. Це США – 28,5 % і 28,4 %, відповідно, Чилі – 19,8 % і 18,7 %, Китай – 8,7 % і 5,6 %, Перу – 5,5 % і 7,7 %, Вірменія – 5,1 % і 7,6 %, Канада – 4,1 % і 4,8 %, Аргентина – 3,9 % і 7,2 %, Казахстан – 5,6 % і 5,4 %. Забезпеченість світової молібденової промисловості підтвердженими запасами складає у всьому світі 40 років. Родовища молібдену поділяють на дві основні групи: власне молібденові і комплексні.

Перша група (власне молібденові) практично повністю представлена родовищами молібденпорфірового (штокверкового) геолого-промислового типу, в них укладено бл. 31 % підтверджених світових запасів. Вони забезпечують приблизно 29 % загальносвітового видобутку [4].

Друга група (комплексні) включає т. ч. мідно-молібденові родовища молібден-міднопорфірового типу (60 % підтверджених запасів і 60,4 % видобутку) і вольфрам-молібденові штокверкового і скарнового типів (6 % запасів і 6,5 % видобутку). Існують молібденвмісні родовища (ванадієві, частина міднорудних, уранових і ін.), роль яких в світовій мінерально-сировинній базі молібдену сьогодні незначна. Родовища молібденпорфірового типу зосереджені в основному в США,

Росії і Канаді, відомі також у Китаї, Казахстані, Монголії і Гренландії. Молібден-міднопорфірові родовища сконцентровані переважно в Чилі, Перу, Панамі, Мексиці, Канаді, Казахстані, Вірменії і Узбекистані. Майже всі вольфрам-молібденові штокверкові і скарнові родовища знаходяться в Китаї, Росії, Казахстані і Монголії. Мінерально-сировинна база молібдену характеризується високою мірою концентрації запасів. У 30 великих родовищах, підтверджені запаси яких перевищують 100 тис. т, укладено 78,3 % світових запасів цієї категорії. Експлуатуються 17 з них, забезпечуючи 67,2 % світового видобутку. У їх число входять 8 надвеликих (понад 300 тис.т) родовищ, в яких зосереджено майже 50 % підтверджених запасів світу. З них розробляються п'ять, і частка їх у світовому видобутку становить 26 % [4].

1.7 Фізико - механічні властивості молібдену

Молібден - світло-сірий метал з кубічної об'ємноцентрованою ґратками типу α -Fe ($a = 3,14 \text{ \AA}$; $z = 2$; просторова група $Im\bar{3}m$), парамагнітний, фізичні властивості приведено у таблиці 1.1 [9].

Таблиця 1.1 – Фізичні властивості молібдену [9]

Властивість	Значення
Густина	10,22 г/см ³
Температура плавлення	2620 °C
Коеф. термічного розширення	5,35 мм/м°C
Температуро провідність	138 Вт/м·К
Температура кипіння	4639 °C

Механічні властивості, як і у більшості металів, визначаються чистотою металу і попередньої механічної і термічної обробкою (чим чистіше метал, тим він м'якше). Володіє вкрай низьким коефіцієнтом теплового розширення. Молібден є

тугоплавким металом з доволі високою температурою плавлення. Основні механічні властивості приведено у таблиці 1.2 [9].

Таблиця 1.2 – Механічні властивості молібдену [9]

Властивість	Значення
Міцність на розрив	324МПа
Коефіцієнт Пуасона	0,38
Модуль пружності	330ГПа
Властивість	Значення
Модуль зсуву	120ГПа
Твердість за Брінелем	225
Твердість за Вікерсом	230
Твердість за Роквелем А	60

1.8 Хімічні властивості молібдену

Система Мо-Fe. Залізо і молібден утворюють інтерметаліди FeMo , Fe_7Mo_6 і тверді розчини.

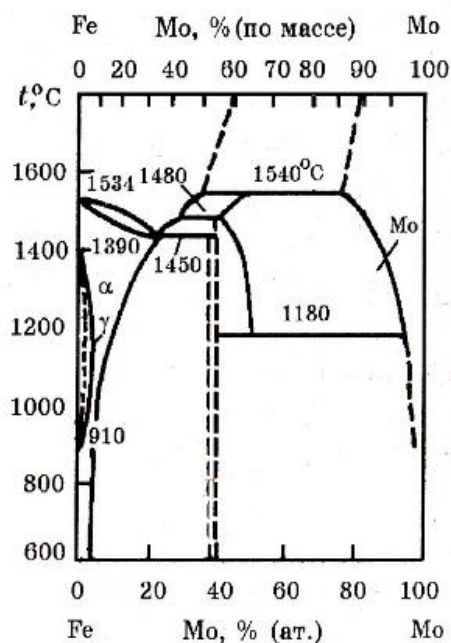


Рисунок 1.8 – Діаграма стану системи Мо-Fe [15]

Температура плавлення (ліквідус) сплавів під час підвищення масового вмісту молібдену до 37,5% дещо знижується, подальше збільшення вмісту молібдену призводить до її значного зростання. Бінарний сплав з вмістом Мо від 55 % до 58 % плавиться за температур, що перевищують 1650 °С [15].

Максимальна розчинність заліза в твердому молібдені за 1610 °С становить 25 % (ат.).

Система Мо–С наведено на рисунку 1.9. Молібден з вуглецем утворюють карбіди Mo_2C (5,88 % С) і MoC_{1-x} . Карбід Mo_2C плавиться без розкладання за температури 2480°С. Термодинамічні характеристики Mo_2C наступні: $\Delta H = -10660$ Дж / моль; $S = 65,90$ Дж / (моль К).

Залежність зміни енергії Гіббса від температури реакції сполуки Mo_2C описується виразом: $2\text{Mo}_{(T)} + \text{C}_{(T)} = \text{Mo}_2\text{C}_{(T)}$; $\Delta G = -47530 - 9,46T$, Дж / моль [15].

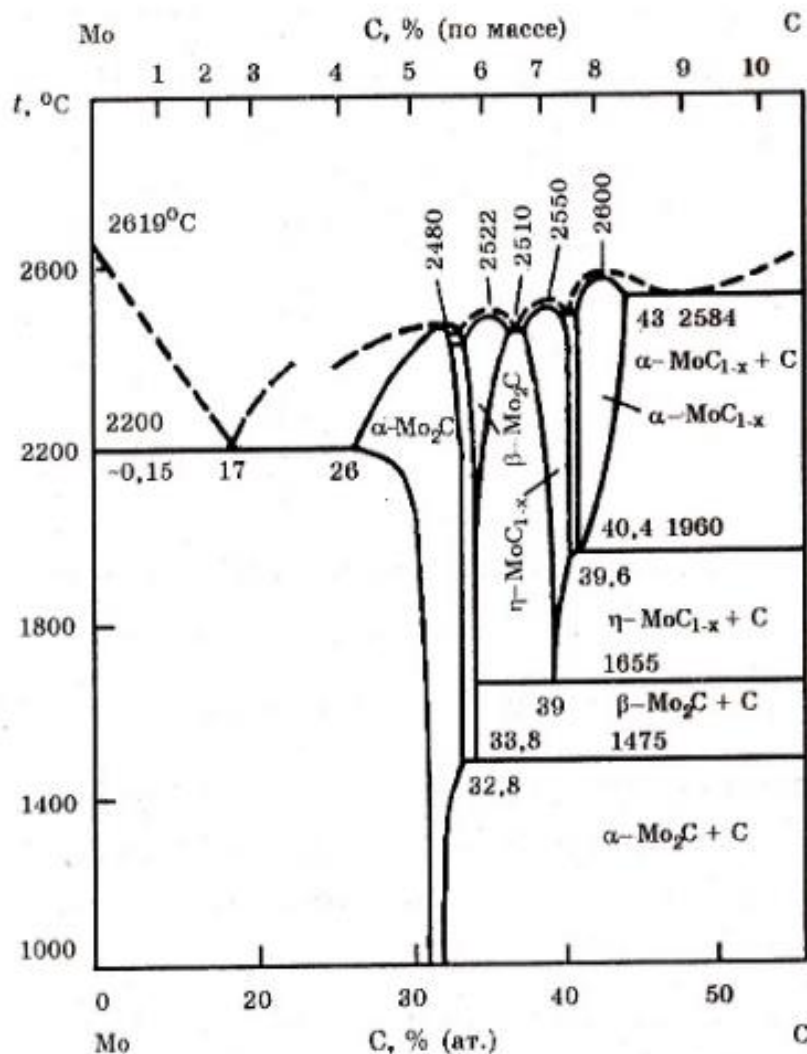


Рисунок 1.9 – Діаграма стану системи Мо-С [15]

Система Mo-Si зображена на рисунку 1.10. У цій системі відомі силіциди Mo_3Si (8,86% Si), Mo_5Si_3 (14,89% Si) і MoSi_2 (36,84% Si). Ентальпія реакцій утворення силіцидів з елементів характеризується такими даними:

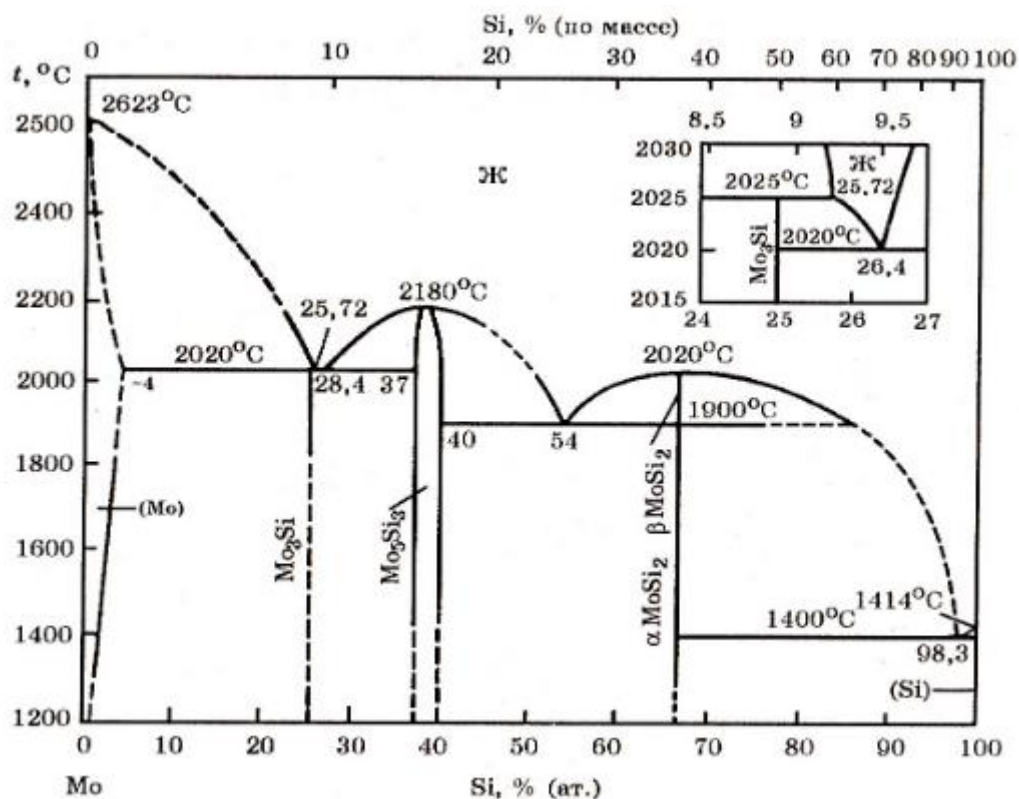
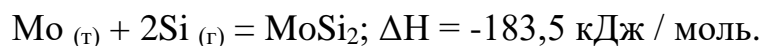
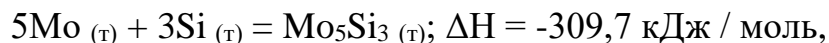
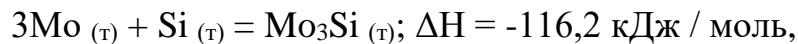
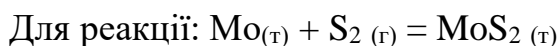


Рисунок 1.10 – Діаграма стану системи Mo- Si [15].

Силіцид MoSi_2 існує в α - і β -модифікаціях, температура перетворення $\alpha\text{-MoSi}_2 \leftrightarrow \beta\text{-MoSi}_2$ дорівнює 1900 °С. Максимальна розчинність кремнію в Мо досягає 3,52% (ат.) за температури 2053 °С.

Система Mo-S зображено на рисунку 1.11. Відомі сульфіди молібдену Mo_2S_3 , MoS_2 і MoS_3 .



Зміна енергії Гіббса має вигляд: $\Delta G = -368258 + 155,91 \cdot T \text{ Дж / моль}.$

Сульфід Mo_2S_3 нестійкий нижче 605°C і під час нагрівання (за нормального тиску) він дисоціює.

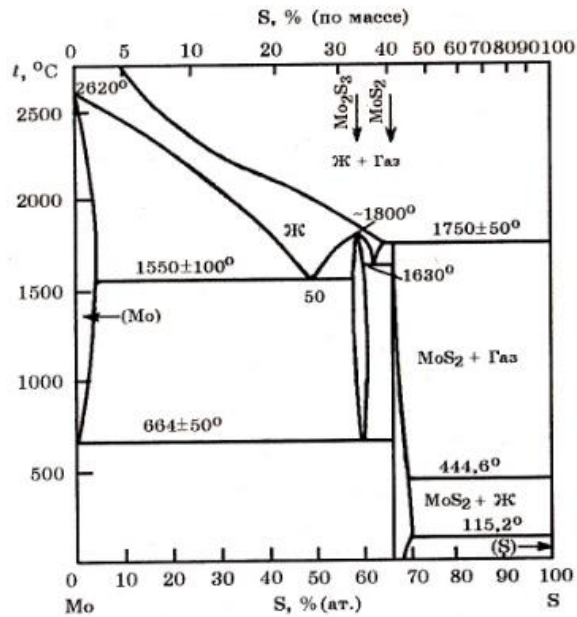
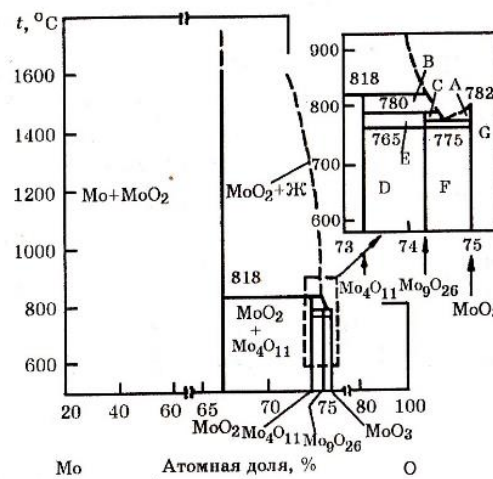


Рисунок 1.11 – Діаграма стану системи Мо- S [15]

На рисунку 1.12 зображено систему Мо-О.



A – $\text{MoO}_3 + \text{Ж}$; B – $\text{Mo}_4\text{O}_{11} + \text{Ж}$; C – $\text{Mo}_9\text{O}_{26} + \text{Ж}$; D – $\text{Mo}_4\text{O}_{11} + \text{Mo}_9\text{O}_{26}$;
E – $\text{Mo}_4\text{O}_{11}(\beta) + \text{Mo}_9\text{O}_{26}$; F – $\text{Mo}_9\text{O}_{26}(\gamma) + \text{MoO}_3$; G – $\text{Mo}_9\text{O}_{26}(\beta) + \text{MoO}_3$

Рисунок 1.12 – Діаграма стану системи Мо- О [15]

Кисень в твердому молибдені розчиняється в незначних кількостях. З киснем молибден утворює оксиди: MoO_3 , MoO_2 , а також Mo_3O ; $\text{Mo}_{17}\text{O}_{47}$; $\text{MoO}_{2,80}$; Mo_8O_{23}

1.9 Властивості оксидів молібдену

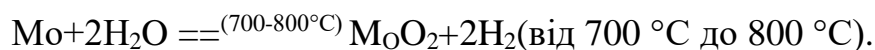
Оксид молібдену (IV) - неорганічна сполука, оксид металу молібдену з формулою MoO_2 , коричнево-фіолетові кристали, не розчинні у воді. Певні властивості молібдену приведено у таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Деякі властивості оксиду молібдену (IV) [15]

Властивість	Значення
Молярна маса	127,94 г/моль
Густина	6,47 г/см ³
Температура плавлення	1100°C
Ентальпія утворення	-589,3 кДж/моль

Оксид молібдену (IV) може виникати внаслідок наступних реакцій:

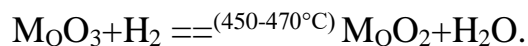
1. Дія перегрітого водяної пари на металевий молібден:



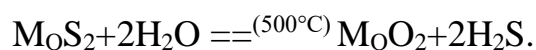
2. Дія на молібден діоксиду вуглецю



3. Відновлення воднем оксиду молібдену (VI)



4. Гідроліз перегрітою водяною парою сульфїду молібдену (IV)



MoO_2 утворює коричнево-фіолетові кристали моноклінної сингонії, просторова група $P2_1$, параметри комірки $a = 0,5601$ нм, $b = 0,4843$ нм, $c = 0,5526$ нм, $\beta = 119,45^\circ$, $Z = 4$. Володіє металевої провідністю. Хімічні властивості:

Розкладається під час нагрівання: $\text{MoO}_2 \xrightarrow{(1800^\circ\text{C})} \text{Mo} + 2\text{MoO}_3$.

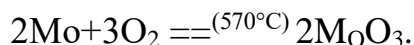
Відновлюється воднем: $\text{MoO}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow{(700^\circ\text{C})} \text{Mo} + 2\text{H}_2\text{O}$.

Оксид молібдену (VI) - бінарна неорганічна хімічна сполука кисню з молібденом[15]. Хімічна формула MoO_3 , його властивості приведено у таблиці 1.4.

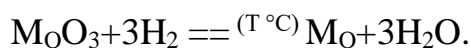
Таблиця 1.4 – Деякі властивості оксиду молібдену(VI) [15]

Властивість	Значення
Молярна маса	143,94 г/моль
Густина	4,69 г/см ³
Температура плавлення	801°C
Температура кипіння	1155°C
Ентальпія утворення	745,17 кДж/моль

Утворюється під час прокалювання молібдену на повітрі:



Реакція з воднем за високих температур:



Термодинамічні константи оксидів молібдену наступні:

$$\Delta H_{298(\text{MoO}_3)}^\circ = -754,9 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta S_{298(\text{MoO}_3)}^\circ = -78,2 \text{ Дж/ (моль К)},$$

$$\Delta H_{298(\text{MoO}_2)}^\circ = -586 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta S_{298(\text{MoO}_2)}^\circ = 48,44 \text{ Дж/ (моль К)}.$$

Газоподібний MoO_3 , що утворюється за температур від 520°C до 720°C , складається з пару сумішей молекул різного складу та тиску над MoO_3 (табл 1.5).

Таблиця 1.5 – Тиск пару MoO_3 за різних температурах [15]

Температура, $^\circ\text{C}$	700	785	850	955	1150
Тиск (MoO_3), кПа	0,29	2,66	26,6	133,0	980,7

Випаровування MoO_3 збільшується в присутності водяної пари. За температури 690°C і тиску водяної пари 798 кПа тиск пару MoO_3 зростає приблизно в 4 рази, оскільки утворюються складні молекули $\text{MoO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. З цими властивостями MoO_3 пов'язано підвищене випаровування і можливі втрати оксидів молібдену під час випалювання молібденітового (MoO_2) концентрату.

Особливостями оксиду MoO_3 є низька температура плавлення (1068 K) і високий тиск пари над ним [15].

Температурна залежність загального тиску пари (МПа) над MoO_3 (Т) має вигляд:

$$\lg P_{\text{заг}} = -1545 / T + 0,526.$$

1.10 Висновки та постановка задач дослідження

Економічна доцільність та висока швидкість спікання є основними умовами застосування електронно променевого спікання, як заміника традиційним методом.

Встановлено, що розвиток адитивного виробництва і високоенергетичних методів обробки матеріалів, дозволяють розробляти нові технології отримання виробів на основі тугоплавких металів, у тому числі молібдену.

Метою роботи є вивчення закономірностей отримання виробів на основі молібдену методом електронно-променевого спікання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

а) дослідити закономірності ущільнення під час пресування порошку молібдену;

б) дослідити закономірності ущільнення під час електронно-променевого спікання пресовок з молібдену;

в) дослідити мікроструктури одержаних зразків;

г) дослідити твердість спечених зразків;

д) дослідити фазовий склад.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика проведення експерименту

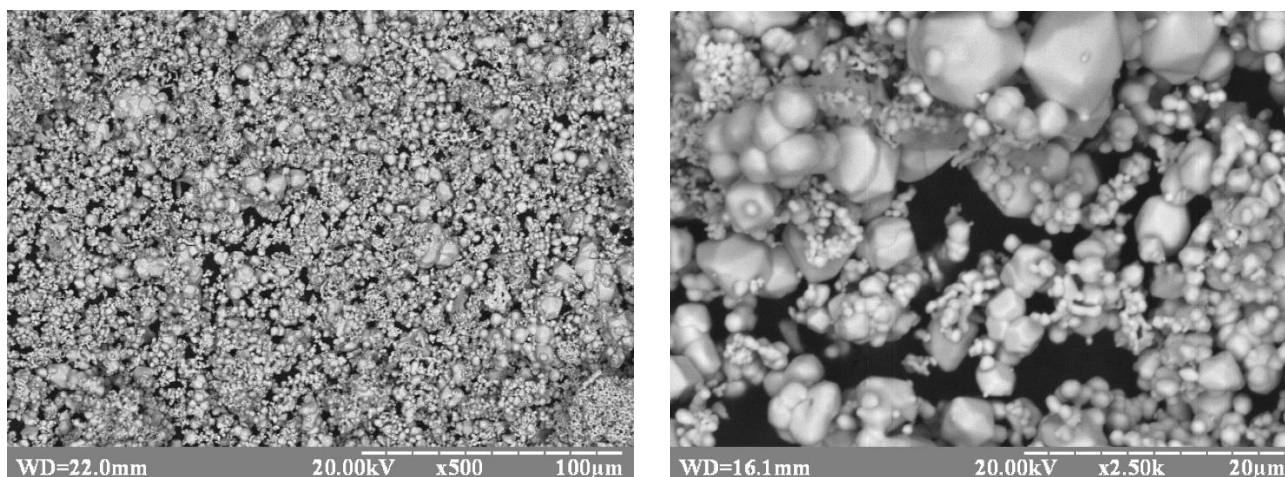
Процес виготовлення молібдену методом електронно-променевого спікання складається з: дозування порошків, замішування суміші з пластифікатором, сушки, пресування заготовок, відпал і спікання електронним променем. Технологічна схема одержання сплавів показана на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Технологічна отримання молібдену методом електронно-променевого спікання

2.2 Вихідні матеріали

У якості вихідних матеріалів використовували промисловий порошок молібдену з чистотою близько 98 мас.% з розміром частинок від 5 мкм до 10 мкм. На початковому етапі дослідження використовували два типи пластифікатора: 1 % розчин синтетичного каучуку в бензині та поліетиленгліколь. На рисунку 2.2 приведено фото вихідних порошків при збільшенні 500 та 2500 разів.



а

б

Рисунок 2.2 – Фото вихідних порошків при збільшенні x500 (а) та x2500 (б)

2.3 Отримання молібдену методом електронно променевого спікання

Дозування матеріалів проводилось за допомогою електронних лабораторних ваг, змішування проводилося в ручну із застосуванням лабораторних сит для протирки вихідної суміші. У якості пластифікатору вводився 1 % розчин синтетичного каучуку для однієї партії зразків та поліетиленгліколь для іншої. Пластифіатор додавався у вигляді 1 % масового від маси суміші. Змішування проводилося протиранням через сито 40 мкм. Розрахунок кількості порошку необхідної для пресування однієї заготовки проводився за формулою:

$$G = V \cdot \rho_k \cdot (1 - \Pi) \cdot K,$$

де G – маса порошку, г;

V – об'єм пресовки, см^3 ;

ρ_k – густина компактного матеріалу, г/см^3 ;

Π – пористість пресовки, що дорівнює 50 %;

K – коефіцієнт, що дорівнює 1,01.

Об'єм пресовки визначається за формулою:

$$V = \pi h d^2 / 4,$$

де d – діаметр пресовки, см;

h – довжина пресовки, см.

Пресування проводилося на гідравлічному пресі з тиском пресування 100 МПа, 200 МПа, 400 МПа, 600 МПа. Результати пресування заготовок з пластифікатором синтетичний каучук наведено у таблиці 2.1, а з пластифікатором поліетиленгліколь у таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Результати пресування заготовок з пластифікатором синтетичний каучук

P, МПа	m, g	D, cm	H, cm	V, cm ³	ρ , g/cm ³	Щільність	Пористість
100,0	3,5370	1,0070	0,8270	0,6583	5,3728	0,5257	0,4743
100,0	3,5007	1,0050	0,8120	0,6438	5,4375	0,5320	0,4680
100,0	3,5380	1,0040	0,8210	0,6497	5,4460	0,5329	0,4671
200,0	3,5352	1,0040	0,7280	0,5761	6,1369	0,6005	0,3995
200,0	3,5362	1,0040	0,7220	0,5713	6,1896	0,6056	0,3944
200,0	3,5544	1,0040	0,7290	0,5769	6,1617	0,6029	0,3971
400,0	3,5550	1,0050	0,6370	0,5051	7,0388	0,6887	0,3113
400,0	3,5316	1,0050	0,6350	0,5035	7,0145	0,6863	0,3137
400,0	3,5353	1,0050	0,6330	0,5019	7,0440	0,6892	0,3108
600,0	3,5608	1,0050	0,5840	0,4630	7,6901	0,7525	0,2475
600,0	3,5466	1,0050	0,5780	0,4583	7,7390	0,7572	0,2428
600,0	3,5664	1,0050	0,5880	0,4662	7,6498	0,7485	0,2515

Таблиця 2.2 – Результати пресування заготовок з пластифікатором ПЕГ

P, МПа	m, g	d, cm	h, cm	V, cm ³	ρ , g/cm ³	Щільність	Пористість
3,4560	1,0060	0,8070	0,6411	5,3906	0,5275	0,4725	3,4560
3,4686	1,0060	0,8100	0,6435	5,3902	0,5274	0,4726	3,4686
3,4760	1,0060	0,8190	0,6507	5,3423	0,5227	0,4773	3,4760
3,4860	1,0060	0,7290	0,5792	6,0191	0,5890	0,4110	3,4860
3,4486	1,0060	0,7090	0,5633	6,1225	0,5991	0,4009	3,4486
3,5316	1,0060	0,7350	0,5839	6,0481	0,5918	0,4082	3,5316
3,4926	1,0060	0,6310	0,5013	6,9671	0,6817	0,3183	3,4926
3,4690	1,0060	0,6260	0,4973	6,9753	0,6825	0,3175	3,4690
3,4818	1,0060	0,6250	0,4965	7,0123	0,6861	0,3139	3,4818
3,5164	1,0060	0,5810	0,4616	7,6183	0,7454	0,2546	3,5164
3,4816	1,0060	0,5720	0,4544	7,6616	0,7497	0,2503	3,4816
3,4814	1,0060	0,5770	0,4584	7,5947	0,7431	0,2569	3,4814

Молибден є пластичним матеріалом тому після пресування він не потребує спеціальних умов транспортування. Зберігання та транспортування здійснювалося у пластикових боксах. Наступним етапом технологічної схеми є відпал.

Відпал проводили у атмосфері водню за температур 750 °С, 950 °С, 1100 °С. Зазначені режими відпалу було обрано на етапі розробки технології для визначення оптимальної температури обробки. Після відпалу було проведено хімічний аналіз отриманих зразків на вміст оксигену. Результати дослідження приведено в таблиці 2.3.

Для атестації порошків застосовано методи, що використовуються у державних стандартах або арбітражних процедурах випробувань оксигену в порошках металевих методами імпульсної відновної екстракції вуглецем в потоці газу-носія гелію у вигляді CO з газо-хроматографічним розділенням та вимірюванням оксигену згідно з ISO 4491-4:1989. Відносна похибка вимірювань $\pm 3,0$ %. Державний Стандартний Зразок залізного порошку «Р-16а, масова доля оксигену $W_{\text{oxygen}} = 0.68 \% \pm 0.02 \%$ масових [16].

Таблиця 2.3 – Результати хімічного аналізу

№	№ лаб.	№ від.	Назва Зразку	O _{загальн.}		№	№ лаб.	№ від.	Назва Зразку	O _{загальн.}
1	53	1.1	Мо П 750С	0.14		13	71	1.2	К.950С	0.10
2	54	2.1		0.14		14	72	2.2		0.12
3	55	4.1		0.14		15	73	4.2		0.11
4	56	6.1		0.14		16	74	6.2		0.12
5	57	1.1	Ск.750С	0.08		17	78	1.3	П 1100С	0.13
6	58	2.1		0.08		18	79	2.3		0.13
7	59	4.1		0.10		19	80	4.3		0.13
8	60	6.1		0.08		20	81	6.3		0.14
9	66	1.2	П. 950С	0.11		21	90	1.3	К 1100С	0.15
10	67	2.2		0.10		22	91	2.3		0.14
11	68	4.2		0.22		23	92	4.3		0.14
12	69	6.2		0.11		24	93	6.3		0.15

Згідно процедури виконується два паралельних вимірювання. Якщо різниця значень не перевищує відносну похибку, береться середнє значення. Якщо відносна похибка перевищена, виконується наступне паралельне вимірювання і т. д. На основі отриманих даних побудовано залежності вмісту кисню від тиску пресування з різними пластифікаторами(рис. 2.3 та 2.4).

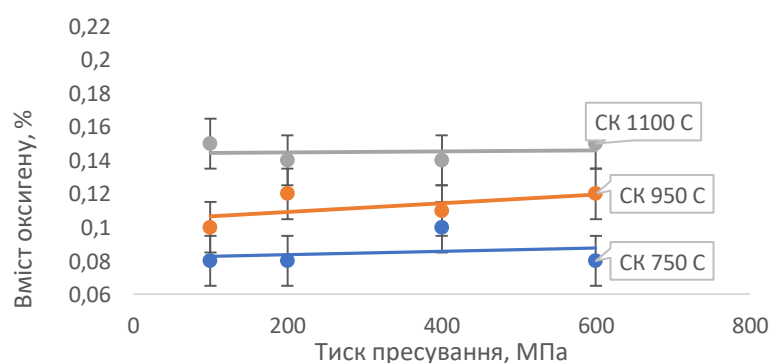


Рисунок 2.3 Залежність вмісту кисню від тиску пресування, для СК

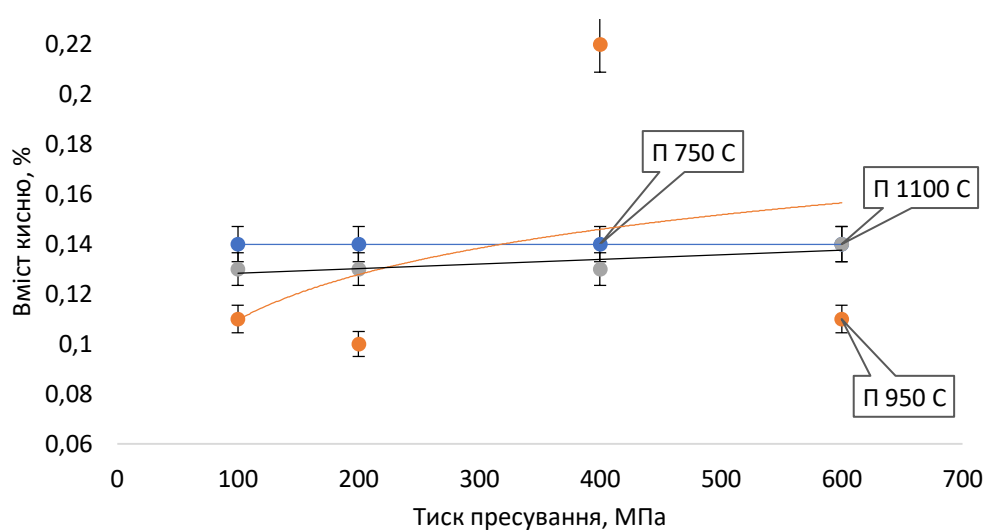


Рисунок 2.4 Залежність вмісту кисню від тиску пресування, для пластифікатора поліетиленгліколь

2.4 Спикання молібдену електронним променем

Спикання зразків здійснювалося електронним променем на установці СВ – 112, фото установки приведено на рисунку 2.5. Дана установка призначена для високоенергетичної обробки порошків металів, їх спикання та розпилювання.

Для спикання зразків з молібдену і його сплавів була змінена конструкція установки, що дало можливість одержувати високу щільність потоку електронів на одиницю площі поперечного перетину зразку і розігрівати його до температури плавлення.

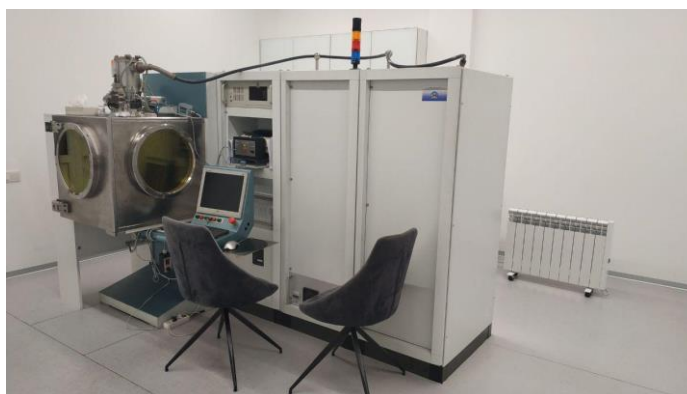


Рисунок 2.5 – Фото установки СВ-112

Оскільки зразок піддавався впливу потоку електронів лише на верхню площину зразка буде доречним навести схему нагрівання зразка у камері (рис. 2.6).

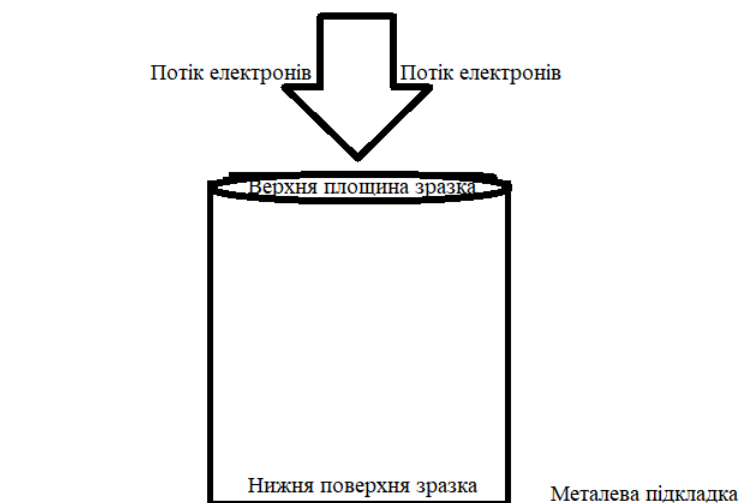


Рисунок 2.6 – Схема нагрівання зразка у камері

Спикання проводилося з різними швидкостями нагрівання та з різною силою струму перелік режимів за яких проводилося спикання наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 Режими спикання, що використовувалися під час дослідження

№	Режим спикання
1	0-3 mA +0,5mA*10с; 3-10 mA +0,5mA*5с; 10 mA
2	0-2 mA +0,5mA*10с; 2-8 mA +0,5mA*5с; 8 mA
3	0-2 mA +0,5mA*10с; 2-7 mA +0,5mA*5с; 7 mA
4	0-2 mA +0,5mA*10с; 2-6 mA +0,5mA*5с; 6 mA
5	0-2 mA +0,5mA*10с; 2-9 mA +0,5mA*5с; 9 mA 90 с
6	0-2 mA +0,5mA*20с; 2-8 mA +0,5mA*10с; 8 mA 90 с
7	0-2 mA +0,5mA*30с; 2-8 mA +0,5mA*20с; 8 mA 90 с

Важливим чинником будь якої термічної обробки є температура та походження середовища у якому відбувається процес спикання. Під час спикання електронним променем важливим є підтримання постійного вакууму в робочій камері для забезпечення стабільного фокусування електронного променю. Також

це забезпечує зниження кількості шкідливих домішок. Контроль температури здійснювався пірометром. На основі даних отриманих з пірометра та сили струму в камері було побудована залежність температури від сили струму, що дозволило отримувати значення зручні для аналізу та інтерпретації залежність зображено на рисунку 2.7.

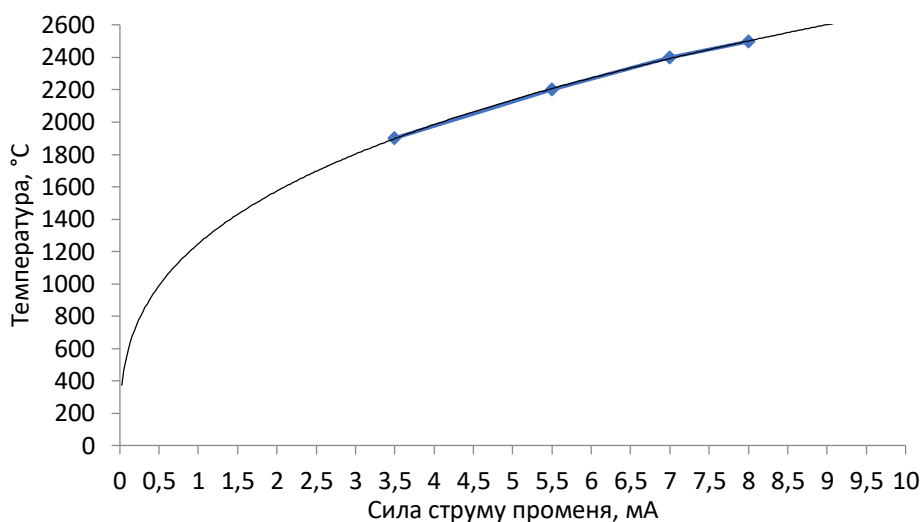


Рисунок 2.7 – Залежність температури зразка від сили струму

Одержані зразки розрізались на різальному станку в повздовжньому напрямку. Поверхні вирізаних частин шліфувались, полірувались і були передані до університету партнера у Німеччину для металографічного дослідження.

2.5 Металографічні дослідження молібдену

Для проведення металографічних досліджень зразки було поміщено у порошок бакеліту. Дослідження проводилось на поздовжньому перерізі. Шліфи виготовлялися на шліфувальному верстаті за допомогою шліфувального паперу з зернистістю P180, P320, P600, P800, P1200, P2500. Зернистість паперу для обробки по мірі виготовлення шліфа. Завершальним етапом було полірування зразків діамантовою пастою з розміром частинок 3 мкм і 1 мкм.

Для відображення структури зразка проведено травлення отриманих шліфів. У якості травника використовували суміш азотної та сульфатної кислоти у

співвідношенні 12:1. Час травлення залежить від тиску пресування і в середньому становить 5 хв.

Безпосередній аналіз отриманої структури, підрахунок, класифікація і виміри геометричних елементів мікроструктури дозволяють одержати уявлення про просторову будову матеріалу, визначити середній розмір зерен.

Сучасна техніка дозволяє використовувати декілька способів аналізу: точковий, планіметричний і лінійний. У першому способі вибірку проводять точково, у другому - прямою, у третьому - площиною. Характеристики, одержані на основі виконаних вимірів, придатні для опису структурних складових, якщо величини, що вимірюються не залежать від форми елементів структури.

Мікроструктура молібдену отриманого методом електронно-променевого спікання досліджувалась за допомогою растрового електронного мікроскопа. Мікроструктури отриманого молібдену зображено на рисунку 2.8.

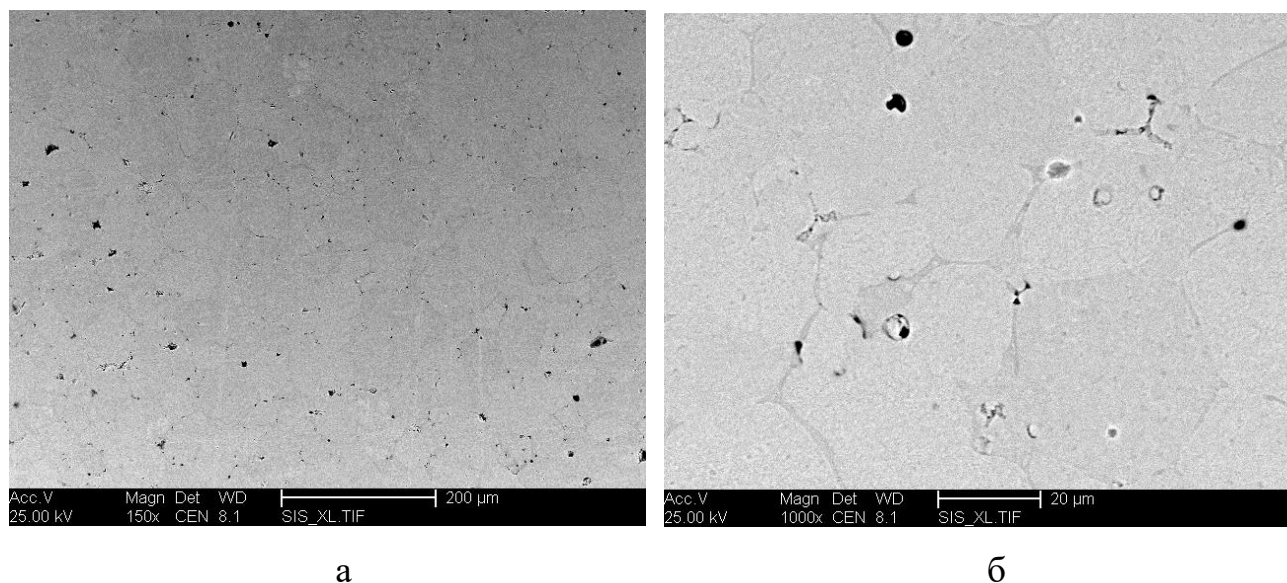
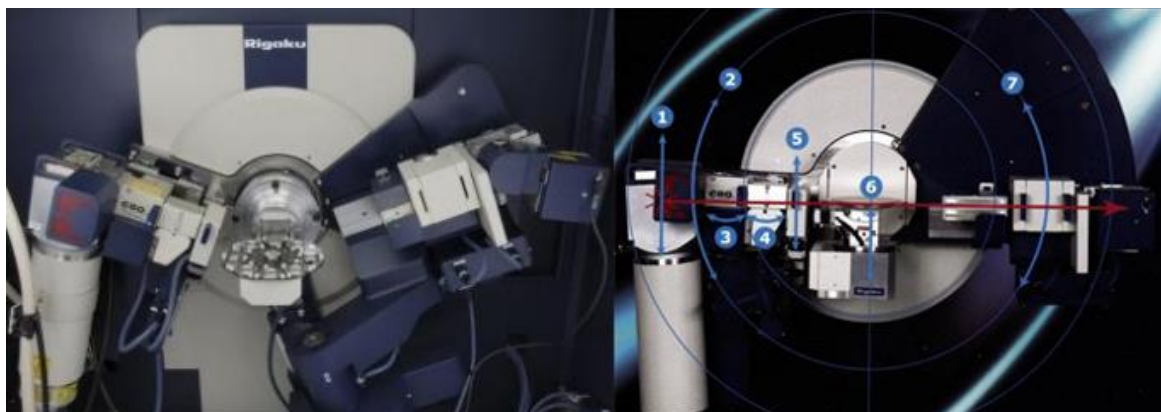


Рисунок 2.8 – Мікроструктури зразка 1.1 при збільшенні x150 (а), зразка 2.3 при збільшенні 1000x (б)

2.6 Рентгенофазовий аналіз

Для встановлення фазового складу зразків було проведено рентгено–фазовий аналіз. Зразки були піддані попередній обробці, а саме вирівнювання поверхні

абразивним кругом. Дослідження та встановлення фазового складу зразків проводили на установці Rigaku Ultima IV. Схема камери установки Rigaku Ultima IV показана на рисунку 2.9 [17].



1 – висота джерела; 2 – кут джерела; 3 – поперечна оптична балка; 4 – кристалооптика; 5 – висота прорізу; 6 – поверхня зразка; 7 – кут ходу детектора

Рисунок 2.9 – Схема установки Rigaku Ultima IV

Фазовий аналіз це дослідження наявності фаз в зразку, ідентифікація (якісний аналіз) та визначення вмісту фаз (кількісний аналіз). Ідентифікація фаз заснована на таких принципах:

а) кожна кристалічна речовина характеризується своїм, цілком індивідуальним дифракційним спектром;

б) суміш речовин дає спектр, що є суперпозицією спектрів цих окремих речовин.

Виміряні відносні інтенсивності ліній і визначені по рентгенограмі міжплощинні відстані називаються рентгенівською характеристикою речовини. Найінтенсивніші лінії даної речовини називають реперними. Вони зникають на рентгенограмі останніми, якщо вміст даної фази в зразку зменшується. За реперними лініями зазвичай і виявляють фази. Мінімальна кількість речовини, за якої ще помітні реперні лінії, визначає чутливість фазового аналізу [19].

Чим вище симетрія кристалічної структури фази, тим вища інтенсивність ліній на рентгенограмі і чутливість аналізу. Для кубічних ґраток множник

повторюваності може досягати максимального значення ($M_{hkl} = 48$). Тому фази з такою ґраткою можна виявити за порівняно малого її співвідношення.

Інтенсивність розсіяних рентгенівських променів тим вище, чим більше атомний номер розсіюючого елементу. Тому фазу з великими атомними номерами вхідних в неї елементів можна виявити за малого її вмісту в суміші з фазами, що складаються з легких елементів, які мають до того ж низькі коефіцієнти поглинання. Навпаки, фазу з малим атомним номером (з низькою розсіюючою здатністю) в суміші з сильно поглинаючими фазами (що складаються з важких елементів) можна виявити лише якщо вміст порівняно великий. Так, в суміші вольфраму ($Z = 74$) з міддю ($Z = 29$) лінії вольфраму виявляються за його мінімальному вмісті близько 0,1 %, а лінії міді – не менше 1 % .

Чутливість методу залежить також від факторів, які викликають розширення рентгенівських ліній. Розмиті лінії виявити складніше, ніж різкі, тому наявність мікровикривлень або дисперсних кристалів (менше 0,1 мкм) знижує чутливість. Погіршує чутливість також грубозернистість зразка, що приводить до точкової будови ліній рентгенограми і, призводить, до зниження точності виміру відстаней між лініями. Обертанням зразка іноді вдається позбутися від пунктирних ліній.

У залежності від того, які з перерахованих факторів діють в більшій чи меншій мірі в кожному конкретному випадку, чутливість рентгенівського фазового аналізу для різних зразків може складати величину від десятих часток до десятка відсотків.

Рівень фону на рентгенограмі або дифрактограмах можна зменшити оптимальним підбором напруги на рентгенівській трубці. Так, для трубки з мідним анодом оптимальне напруга становить від 25 кВ до 30 кВ, для хромового анода – 25 кВ [18].

Чутливість методу також підвищується якщо правильно приготувати зразок. Перед зйомкою доцільно проводити хімічне очищення аналізованих порошків від забруднень. За зйомки шліфів із сталей або сплавів хімічне або електрохімічне травлення дозволяє збагатити поверхню зразка карбідами або інтерметалідами, так як при відповідному підборі протравлювача розчиняється матриця і залишаються частки обумовленої фази.

Якщо об'ємна частка аналізованої фази знаходиться на кордоні або нижче чутливості методу, цю фазу необхідно виділити із зразка, розчиняючи основу сплаву. Найбільш часто використовують анодне розчинення (зразок служить анодом) в електроліті, котрий підбирають так, щоб, розчиняючи матрицю, він у той же час не реагував з аналізованою фазою. Анодне розчинення використовують, зокрема, під час аналізу неметалічних включень у сталях, де їх об'ємна частка завжди велика.

Якщо зразок однофазний, то визначення цієї фази представляє просту задачу. Складність визначення зростає зі збільшенням числа хімічних з'єднань, складових зразка.

У процесі розшифровки рентгенограм можна виділити шість основних етапів: первинна обробка рентгенограми, ідентифікація речовин, визначення сингонії кристала та індексування рентгенограми, розрахунок та уточнення параметрів елементарної комірки, перевірка правильності розрахунків, визначення типу ґратки Браве.

Так як майже немає двох кристалічних речовин, які мали б однакову в усіх відношеннях кристалічну структуру, то рентгенограми майже однозначно характеризують дану речовину і ніяку іншу. У суміші декількох речовин кожна з них дає свою картину рентгенівської дифракції незалежно від інших. Отримана рентгенограма суміші являє собою суму ряду рентгенограм, які вийшли б, якби на одну і ту ж плівку по черзі знімали кожен речовину окремо. Під час проведення рентгенофазового аналізу якісний хімічний склад досліджуваної речовини відомий чи можна зробити припущення про нього. Виходячи з хімічного складу зразка, можна скласти список кристалічних фаз, які можуть бути присутніми в досліджуваній речовині, або список систем, до яких такі фази можуть відноситися [18].

2.7 Вимірювання твердості

Випробування на твердість за Роквеллом – це метод оцінки твердості матеріалів, що базується на вимірюванні глибини проникнення твердого наконечника (вістря, індентора) під заданим навантаженням у досліджуваний матеріал. Твердість потрібно вимірювати не менш ніж у трьох точках. Для обчислення беруть середнє значення результатів другого і третього вимірювань.

Існує декілька альтернативних шкал, з яких найчастіше використовують шкали А, В і С. Для позначення твердості, визначеної за методом Роквелла, використовують символ HR, до якого додають букву, що вказує на шкалу за якою проводили випробування (HRA, HRB і т. д.). Перелік шкал, що використовуються методом Роквелла приведено у таблиці 2.5 [19].

Таблиця 2.5 – Шкали за методом Роквелла

Назва	Шкала	Сила, кгс	Індентор
А	HRA	60	120° алмазний конус
В	HRB	100	1,58мм сталева кулька
С	HRC	150	120° алмазний конус
Д	HRD	100	120° алмазний конус

Чим твердіший матеріал, тим меншою буде глибина проникнення наконечника в нього. Щоб за більшої твердості матеріалу виходило більше число твердості по Роквеллу, вводять умовну шкалу глибин, беручи за одиницю відліку глибину, рівну 0.002 мм (в окремому випадку, 0,001 мм для тонких шарів). Під час випробування алмазним конусом гранична глибина проникнення становить 0.2 мм, або $0.2 / 0.002 = 100$ поділок, за випробування кулькою — 0.26 мм, або $0.26 / 0.002 = 130$ поділок. Формула для обчислення значення твердості за шкалою А:

$$HR=100 - \frac{H-h}{0,002},$$

де H – глибина занурення наконечника після зняття основного навантаження, мм

h – глибина занурення наконечника до прикладання навантаження, мм.

Вимірювання твердості регулюється міжнародним стандартом ISO 6508 – 1 [19].

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Після пресування зразків із різними пластифікаторами було визначено їх щільність та пористі, результати розрахунків пористості та щільності приведено на рисунку 3.1.

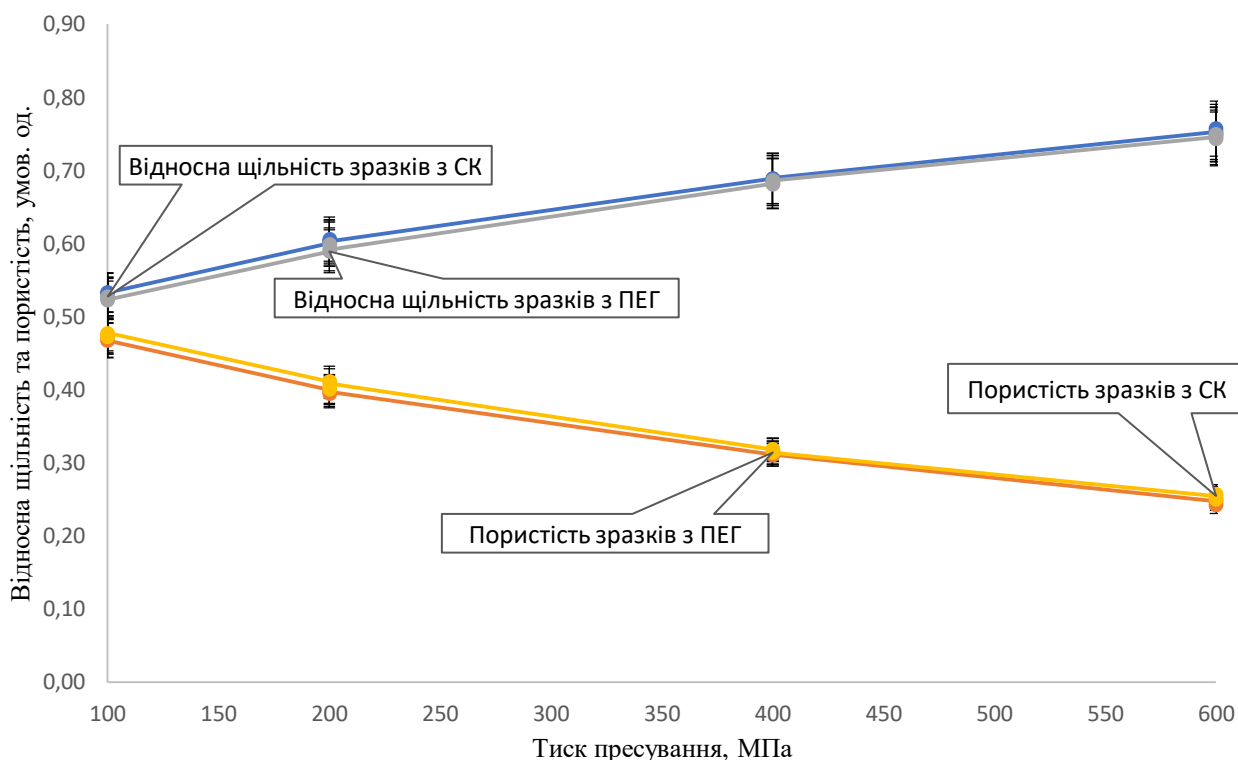


Рисунок 3.1 – Відносна щільність та пористість зразків із різними пластифікаторами

Як бачимо отримані залежності відповідають теорії зі збільшенням тиску пресування відносна щільність зразків зростає. З характеру отриманих залежностей можемо зробити висновок, що молібден під час пресування поводить себе як пластичний метал.

З отриманих зразків було підготовлено окремі партії для спікання у різних режимах. Після проведення серії експериментів було отримано зразки із відносною середньою щільністю – 91,7 % та середньою об'ємною усадкою 26,7 %.

Оскільки залишкова пористість становить менше 10 % можемо припускати, що у зразку лишилася закрыта пористість після спікання, отриманні значення

відповідають теоретичним значенням пористості після спікання молібденових штабиків.

Згідно Я. Є. Гегузину спікання може супроводжуватись дією наступних механізмів: в'язкого плину; об'ємної самодифузії; поверхневої самодифузії; переносу через газову фазу; пластичного плину.

На початковому етапі спікання переважним буде механізм в'язкого плину, на наступних етапах вступатиме в дію об'ємна самодифузія.

Залежність відносної щільності зразків від температури спікання (рис. 3.2), залежність відносної щільності зразків від середньої швидкості нагрівання (рис 3.3), залежність відносної щільності зразків від часу спікання (рис 3.4) та залежність відносної щільності зразків від швидкості нагрівання за різних тисків пресування (рис 3.5).

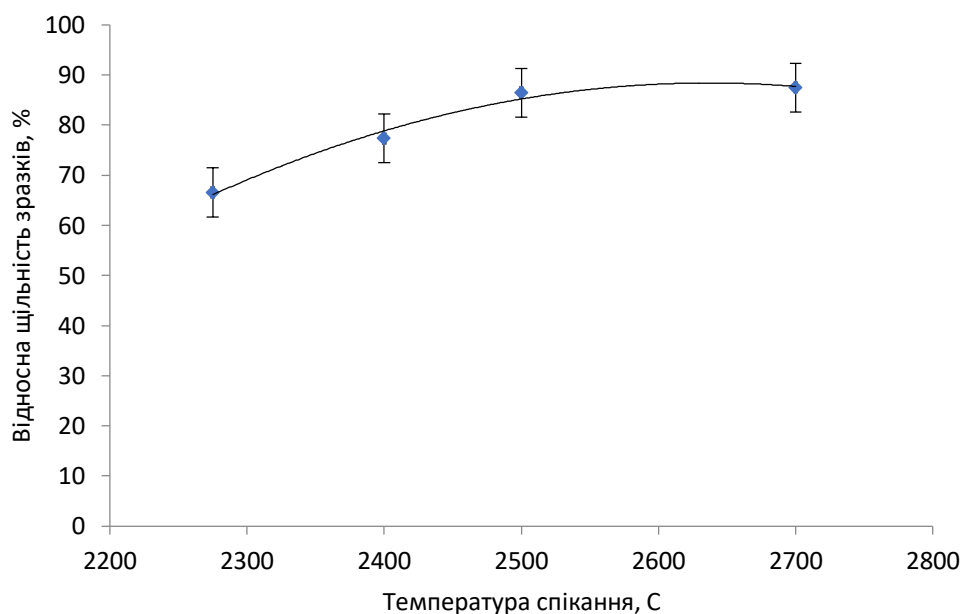


Рисунок 3.2 – Залежність відносної щільності зразків від температури спікання

Бачимо, що зі зростанням температури спікання ми отримуємо більшу щільність зразків, оскільки процес електронно-променевого спікання є досить інтенсивним процесом то вища щільність зразків за високих температур може бути пов'язана з більш інтенсивним протіканням дифузії у зразках, що спікаються, оскільки з підвищенням температури зростає коефіцієнт дифузії.

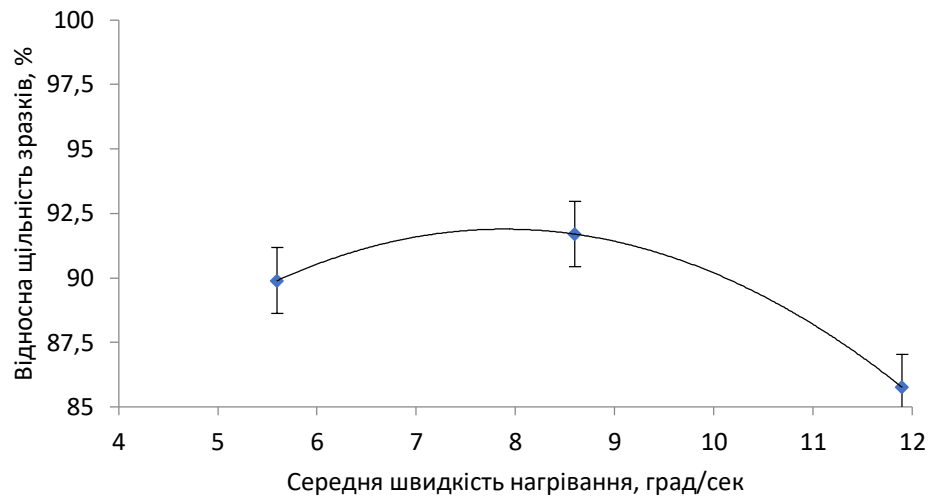


Рисунок 3.3 – Залежність відносної щільності зразків від середньої швидкості нагрівання для зразків спресованих з тиском 100 МПа

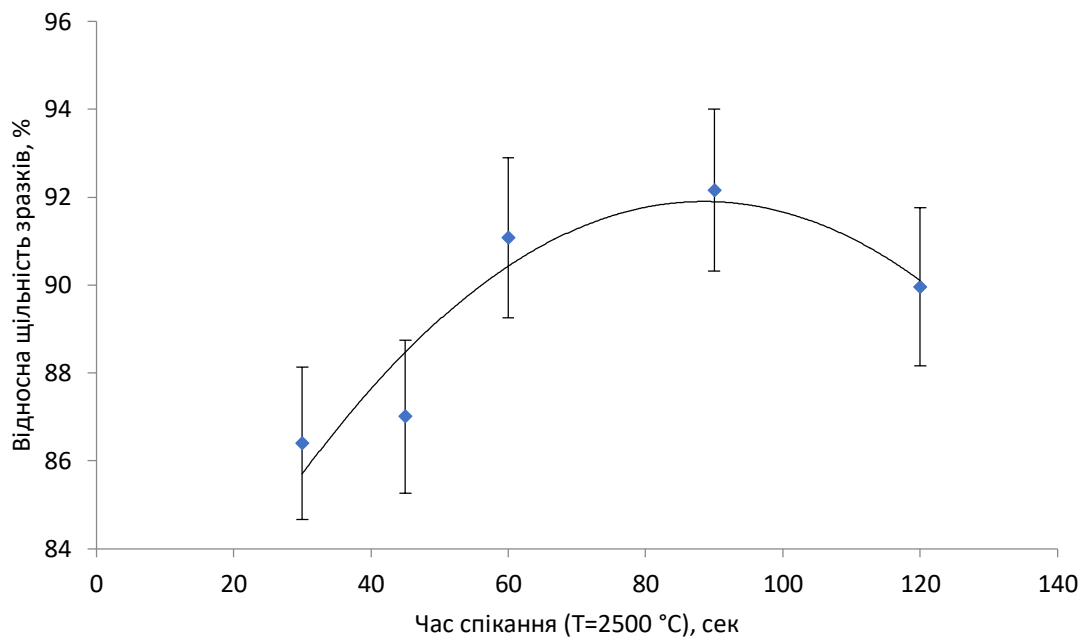


Рисунок 3.4 – Залежність відносної щільності зразків від часу спікання

Відповідно до залежності приведеної на рисунку 3.4 можемо зробити висновок, що зі зростанням часу спікання, зростає щільність зразків, що відповідає теорії.

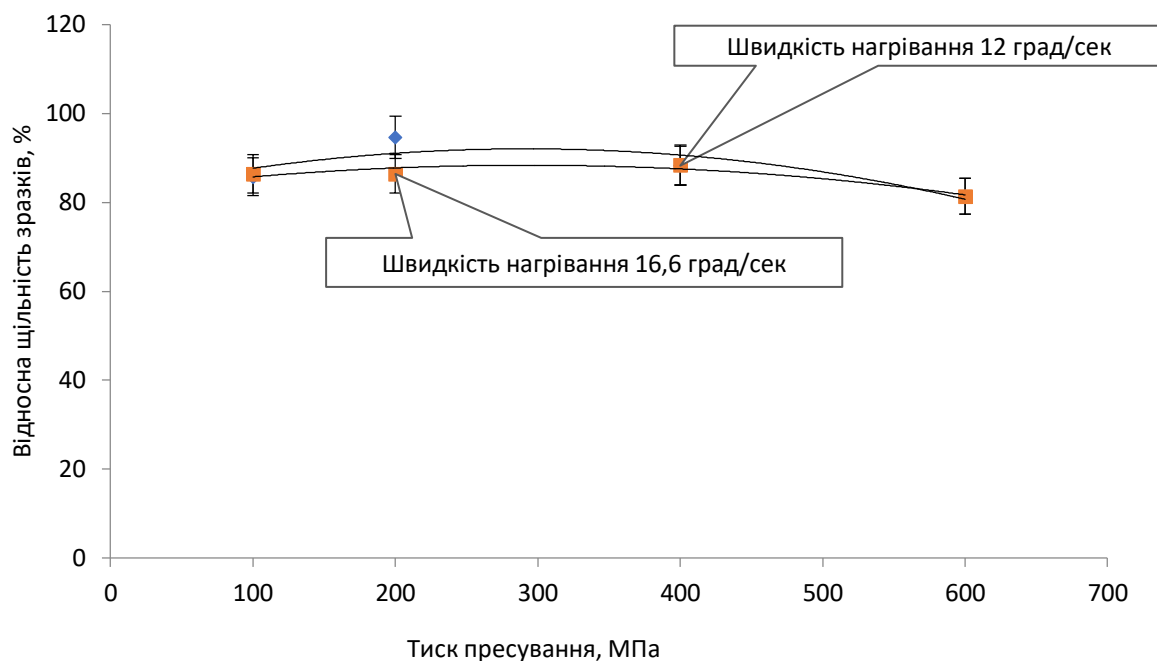


Рисунок 3.5 – Залежність відносної щільності зразків від тиску пресування за різних швидкостей спікання

З рисунку 3.5 бачимо, що швидкість нагрівання 12 градусів за секунду та 16,6 градусів за секунду не мають значного розходження по фінальній щільності зразків. Також слід зазначити, що зразки отриманні з тиском пресування 600 МПа після спікання мають нижчу щільність, аніж зразки за інших тисків, хоча після пресування дані зразки мали найвищу щільність. Це може бути викликане тим, що за даного тиску пресування утворюється значна кількість закритих пор, оскільки у порах зберігається повітря, яке є хорошим теплоізолятором, то теплопровідність зразка знижується, що призводить до підвищення часу, необхідного для нагрівання зразка.

Для оцінки особливостей спікання молібдену електронним променем побудуємо залежності об'ємної усадки зразків від параметрів, що можуть регулюватися електронним променем.

Оцінимо вплив температури спікання на усадку зразків, залежність приведено на рисунку 3.6.

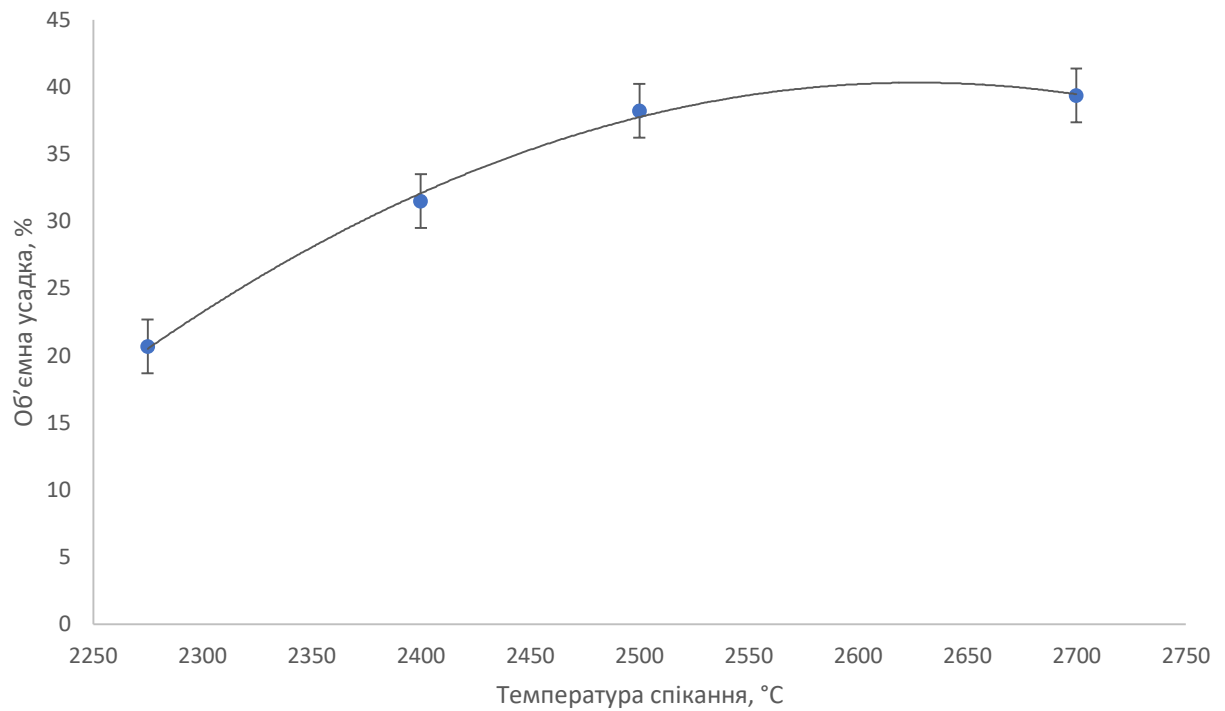


Рисунок 3.6 – Залежність усадки від температури спікання

Спостерігаємо зростання усадки зразків зі збільшенням температури спікання. Оскільки при вищих температурах процеси дифузії проходять більш інтенсивно (за рахунок вищого коефіцієнту дифузії). Оцінимо вплив часу спікання на усадку зразків (рис. 3.7).

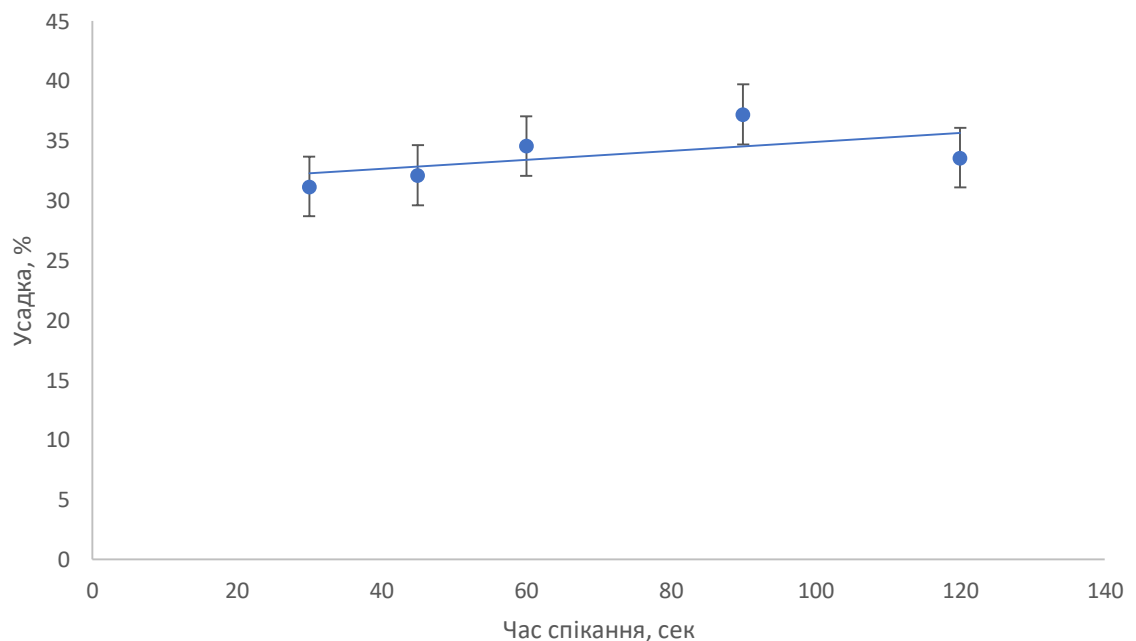


Рисунок 3.7 – Залежність усадки зразків від часу спікання

Як видно із залежності зображеної на рисунку 3.7, підвищення часу спікання приводить до збільшення усадки зразків

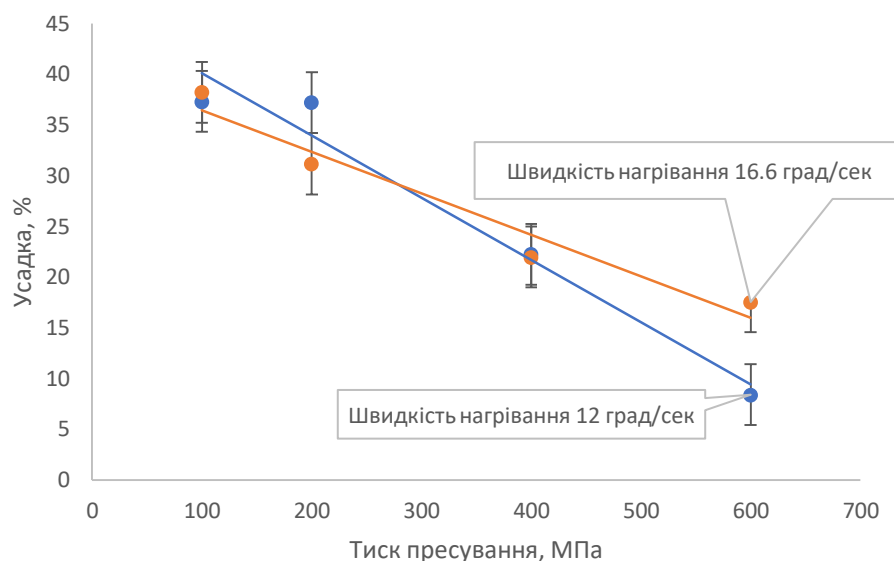
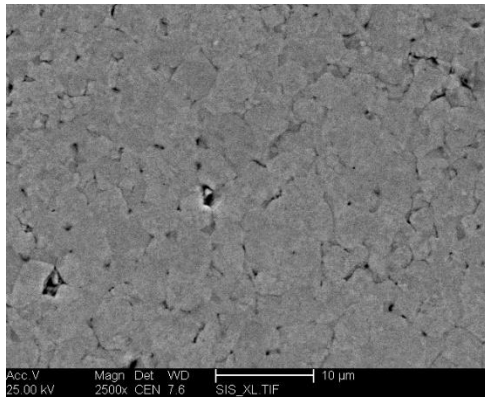


Рисунок 3.8 – Залежність усадки зразків від тиску пресування за різних швидкостей нагрівання

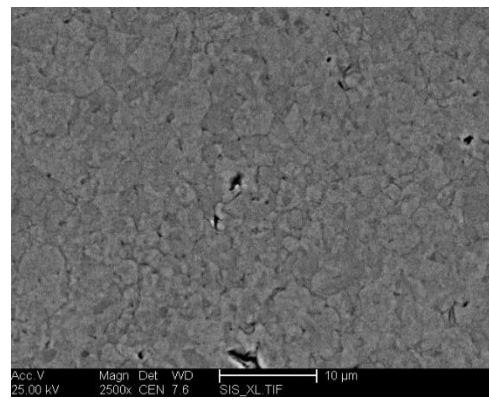
Бачимо, що швидкість нагрівання не має значного впливу на усадку зразків у той час як збільшення тиску призводить до зниження об'ємної усадки зразків, оскільки зразки отримані за вищих тисків мають вищу кількість закритої пористості, що як говорилося вище має негативний вплив на процеси теплопередачі.

Відповідно до отриманих результатів відносної щільності можна зробити висновок, що ми можемо отримувати заготовки методом електронно променевого спікання з властивостями, що відповідають традиційним методом порошкової металургії, однак отримувати значний вигреш в часі виробництва заготовок.

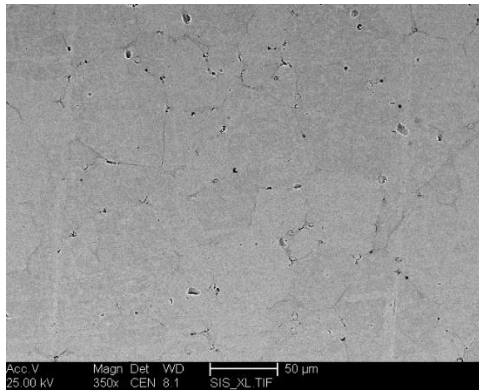
Оцінимо мікроструктури отриманих зразків молібдену, які приведено на рисунку 3.9.



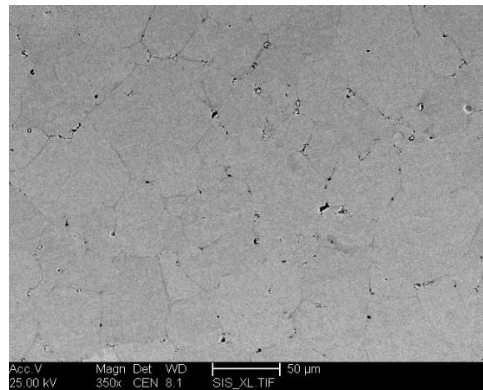
1



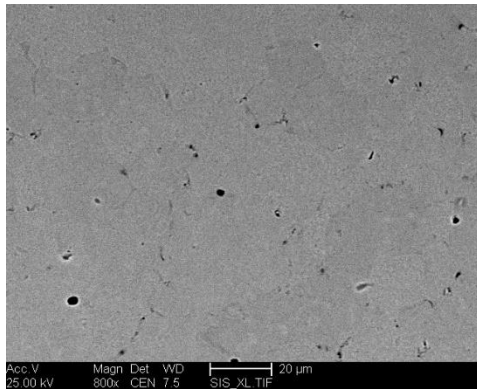
2



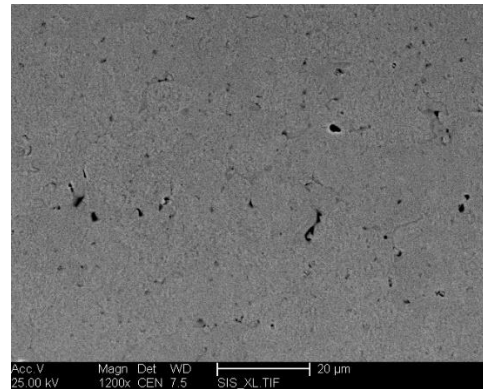
3



4



5



6

1 – зразок 1.8 нижня частина зразку; 2 – зразок 1.8 верхня частина зразку
 3 – зразок 2.3 нижня частина зразку; 4 – зразок 2.3 верхня частина зразку
 5 – зразок 2.8 нижня частина зразку; 6 – зразок 2.8 верхня частина зразку

Рисунок 3.9 – Мікроструктури молібдену

У таблиці 3.1 приведено результати дослідження середнього розміру зерен.

Таблиця 3.1 – Середній розмір зерен та параметри спікання

Номер зразку	Середній розмір зерен, мкм		Температура спікання, °C	Час спікання, сек	Відносна щільність, %
	Низ	Верх			
1.8	4,375	3,437	2275	100	67
2.3	58,82	56,62	2500	90	94,6
2.8	19	19,33	2500	30	86

Аналіз мікроструктур показує, що методом електронно променевого спікання можна отримувати зразки з різноманітними структурами в залежності від режиму спікання. Також спостерігаємо цікаву тенденцію, нижня частина зразку має більший розмір зерен, це можна пояснити швидкістю охолодження, зразку. Верхня частина охолоджувалася швидше за рахунок цього зерна мають менший розмір ніж, зерна у нижній частині зразку. Нижня частина розташовувалася на підкладці з молібдену, після припинення нагрівання, підкладка ще певний час віддавала своє тепло зразку.

Було виміряно твердість за Роквеллом по шкалі HRA для зразків спечених у різних режимах для верхньої та нижньої поверхні (рис. 2.6).

Оцінимо твердість зразків після спікання від тиску пресування, залежність приведено на рисунку 3.10.

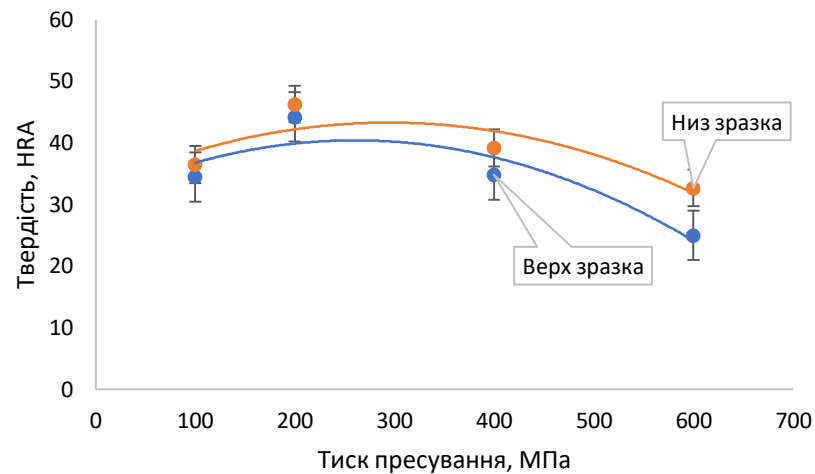


Рисунок 3.10 – Залежність твердості від тиску пресування

Бачимо, що під час збільшення тиску пресування твердість зразків знижується, що відповідає значенням відносної щільності зразків після спікання. Також бачимо, що нижня поверхня має вищу твердість за верхню поверхню, однак значення лежать у межах похибки. На рисунку 3.11 приведено залежність твердості нижньої та верхньої поверхні зразків від середньої швидкості нагріву.

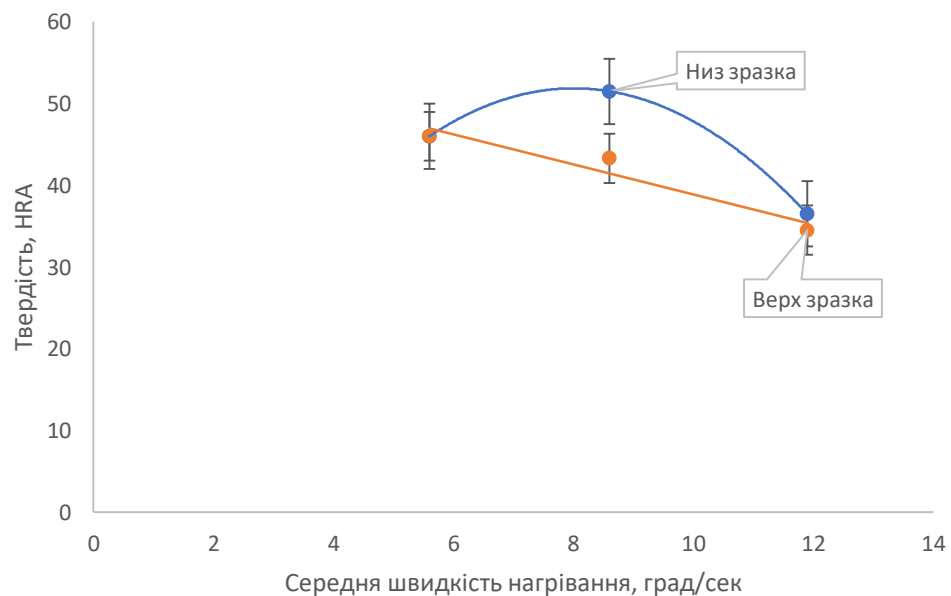


Рисунок 3.11 – Залежність твердості від швидкості нагрівання зразку

Бачимо, що зі збільшенням швидкості нагрівання (час спікання 90 секунд) значення твердості знижується, що пояснюється збільшенням пористості зразків,

цікавим є факт, що нижня поверхня зразків, яка не піддавалася прямому нагріву має вищу твердість, аніж верхня. Це можна пояснити тим, що верхня частина зразку має вищу пористість аніж нижня, оскільки залишкові гази під час нагріву виходять на зовні причому рухаються в гору, при високій інтенсивності процесу, існує ймовірність, що не всі залишкові газ встигнуть вийти. На рисунку 3.12 зображено залежність твердості від часу спікання.

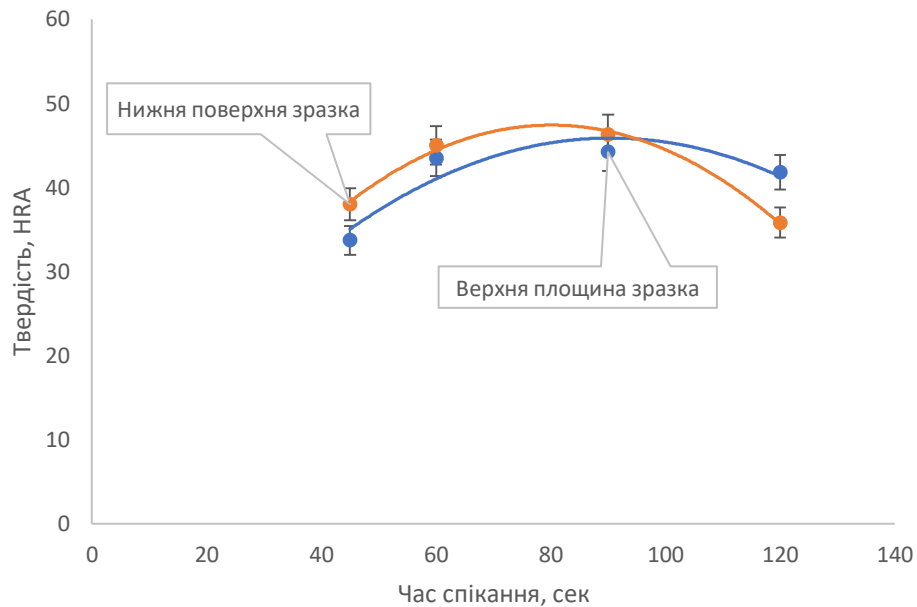


Рисунок 3.12 – Залежність твердості від часу спікання

З рисунку 3.12 бачимо, що характер твердості стосовно верхньої та нижньої частини відповідає значенням наведеним на рисунку 3.11 і має теж пояснення, однак бачимо, що зі збільшенням часу спікання до 90 секунд і вище характер графіків змінюється і за довшого нагрівання верхня частина зразків має вищу твердість, аніж нижня, що пояснюється тим, що процес виходу газів завершується більш повноцінно і пористість вирівнюється по висоті зразку і вплив на твердість становитимуть розмір зерен у зразку, а як видно із таблиці 3.1 нижня поверхня має менші за розміром зерна, що згідно теорії Холла-Петча призводить до зміцнення матеріалу.

Також було проведено рентгенофазовий аналіз зразків 1.2, 1.4, 1.7, 1.8, 6.3. У таблиці 3.2 наведено основні параметри, що впливають на фінальні властивості цих зразків.

Таблиця 3.2 – Параметри, що впливають на властивості зразків

№	Тиск пресування, МПа	Температура спікання, °С	Час спікання, сек	Інтенсивність для піку(110)	Швидкість нагрівання, град/сек
1.2	100	2500	30	2013	16,6
1.4	100	2500	90	2262	12
1.7	100	2500	90	2409	5,6
1.8	100	2275	30	1801	16,6
6.3	600	2500	90	2268	12

Бачимо, що отримані зразки значно відрізняються оцінимо отримані рентгенограми, рисунок 3.13.

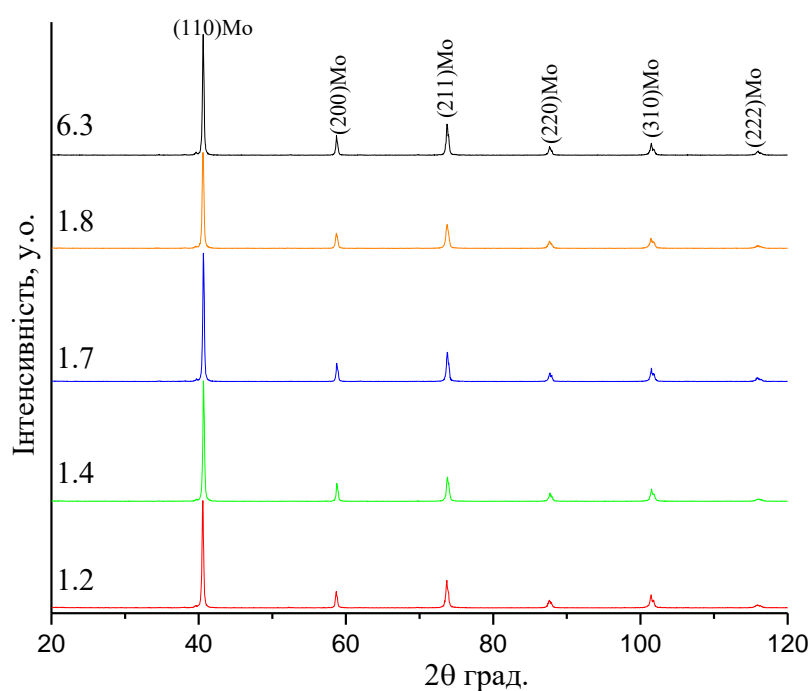


Рисунок 3.13 – Рентгенограми спечених зразків молібдену

Параметри зразків отримані у результаті рентгенофазового аналізу приведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати рентгенофазового аналізу

Номер зразка	Отримані фази	Вміст фази, %
1.2	Molybdenum	99,8
1.4	Molybdenum	98,8
1.7	Molybdenum	99,3
1.8	Molybdenum	99,6
6.3	Molybdenum	99,9

Вміст молібдену в зразках отриманих методом електронно-променевого спікання близький до 100 %. Рентгенофазовий аналіз не показує наявності додаткових фаз чи домішок.

Після проведення аналізу рентгенограм встановлено, що зразки отримані за різних режимів спікання мають однакову ширину ліній, однак висота піків інтенсивності відрізняється у отриманих зразках. Режим спікання має значний вплив на інтенсивність отриманих ліній оскільки зі зміною режиму спікання ми отримуємо різний розмір зерен у зразку.

Встановлено, що оптимальною технологією є використання у ролі пластифікатора 1 % розчину синтетичного каучуку у кількості 1 % масовий. Оптимальний тиск пресування 200 МПа для зразків висотою 8 мм та діаметром 10 мм. Відпал необхідно проводити у атмосфері водню за температур 750 °С. Для даних зразків оптимальний режим спікання нагрів з середньою швидкістю 6 град/сек. З подальшою витримкою за температур 2500 °С та часу 90 секунд.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Виробництво молібдену це підгалузь кольорової металургії, що об'єднує підприємства з видобутку та переробки руд для одержання молібдену. Традиційний методом отримання компактного молібдену поділяється на 3 стадії: формування порошку та спікання молібденового каркасу та високотемпературне спікання так зване зварювання.

Під час проведення експериментів необхідно дотримуватись вимог та правил техніки безпеки, оскільки виробництво виробів з тугоплавких металів є досить небезпечним, на кожному етапі є окремі фактори ризику, а саме: подразнення слизових оболонок та захворювання легеневих тканин; можливість отримання опіків; можливе отримання травм під час роботи на пресах; можливість бути ураженим електричним струмом у разі відсутності заземлення під час роботи з електричним обладнанням; небезпека отримати різноманітні травми під час роботи з електронним променем.

Для регулювання використання виробничого обладнання та охорони праці співробітників було прийнято наказ від 28.12.2017 № 2072 Про затвердження Вимог безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками [38].

4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)

Технологічні операції, що виконувалися під час проведення даної магістерської дисертації несли у собі ту чи іншу небезпеку. Розглянемо більш детально процес отримання молібдену методом електронно-променевого спікання згідно технологічної схеми (рис. 2.1). Застосоване обладнання під час даних технологічних процесів може бути чинником виробничого травматизму та професійних захворювань [39].

Шкідливі фактори, які виникають в процесі виконання роботи наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі фактори на виробництві

Вид процесу	Шкідливі та небезпечні виробничі фактори
Дозування порошку	Забруднення повітря пилом молібдену
Замішування з пластифікатором	Забруднення повітря робочої зони випарами бензину
Пресування	Механічні небезпеки від рухомих частин, системи, що знаходять під тиском
Відпал	Пожежна небезпека, теплове випромінювання, інфрачервоне випромінювання
Спікання електроним-променем	Електричний струм, теплове випромінювання видиме, інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання

Отже, розглянемо більш детально небезпеки, які виникають під час виконання магістерської дисертації:

Під час дозування порошку молібдену повинні передбачатися заходи, що виключають потрапляння часток порошку в органи дихання, пил молібдену та його з'єднань, таких як триокис молібдену і молібдатів, що розчинюються у воді, можуть мати незначну токсичність під час вдихання або потрапляння всередину організму. Лабораторні тести свідчать, що такий молібден, у порівнянні з багатьма важкими металами, має відносно низьку токсичність. Гостра токсичність у людей малоймовірна, оскільки доза для ураження повинна бути винятково великою. Є ризик накопичення молібдену в організмах працюючих у видобувній промисловості та на збагаченні руд, в хімічній промисловості, але досі не було повідомлень про такі ураження. Гранично допустима концентрація молібдену $3,5 \text{ мг/м}^3$ [40]. Тому були розроблені наступні превентивні заходи, наведені в підрозділі 4.2.

Замішування з пластифікатором необхідно для підвищення формуємості порошку також пластифікатор виступає у ролі додаткового відновника. У якості пластифікатора було використано розчин синтетичного каучуку в бензині. Пари бензину, що виникають під час проведення операцій є токсичним і викликають небезпеку виникнення пожежі. Бензини, будучи токсичними матеріалами, здатні проникати в організм через органи дихання, шкіру і травний тракт. Концентрація

парів бензину в повітрі не повинна перевищувати 0,3 мг/л. Під час нетривалого вдихання повітря, що містить бензин в кількості від 5 мг/л до 10 мг/л, настає гостре отруєння, характерними ознаками якого є головний біль, неприємні відчуття в горлі, кашель, подразнення слизової оболонки носа і очей, нестійка хода, запаморочення, збудження. Під час видалення постраждалих з отруєної атмосфери через деякий час більшість цих явищ проходить.

Пресування технологічна операція, що полягає у формуванні порошку під дією тиску. Під час проведення дослідження використовувався ручний механічний гідравлічний преси. Небезпека проведення пресування полягає у тому, що за значних тисків формування можливе руйнування рухомого пуансону чи матриці прес форми. Під великим тиском зруйновані частини прес форми можуть досягати значних швидкостей та нанести ушкодження оператору преса. Також небезпека рухомих частин полягає у можливості потрапляння частин одягу чи волосся у незакритті механізми пресу.

Процес відпалу полягає у високотемпературній обробці отриманих зразків з метою видалення кисню. Під час цієї операції співробітник може піддаватися впливу інфрачервоного випромінювання, а також дії високих температур.

Фінальною операцією отримання молібдену є спікання, у даній магістерській дисертації спікання проводили електронно променевим методом. Особливістю спікання електронним променем є те, що прогрівання металу йде не з поверхні, а з поверхневого шару товщиною, рівною довжині вільного пробігу електрона. Зона нагрівання в залежності від ступеня фокусування може змінюватися у сучасних зварювальних установках від 0,05 мм до 5 мм. Відповідно до електронно-променевої технології створюють такі шкідливі виробничі фактори як: випромінювання в оптичному діапазоні видиме та ультрафіолетове та іонізуюче випромінювання, а також створюється небезпека ураження електричним струмом.

4.2 Безпека технологічного процесу та обладнання

Під час дозування пил молібдену може мати незначну токсичність під час вдиханні або потраплянні всередину організму, тому для усунення небезпеки під час роботи з порошками, необхідно використання засоби індивідуального захисту, а саме: гумові рукавиці та респіратори для запобігання потрапляння небажаних речовин на шкіру та в органи дихання.

Технологічний процес передбачає використання бензину в кількості 0,5 л, що не несе загрози для людини за випадкового проливання та обережному поводженні. Бензин не піддавався нагріванню та пошкодженню, а також зберігалися поза межами лабораторії, тому ризик вибухонебезпечності практично відсутній.

Для попередження потрапляння шкідливих речовин в організм та отруєння шкідливими речовинами, змішування пластифікаторів з порошком молібдену проводилось у витяжній шафі в добре провітрюваній лабораторії. Для додаткового захисту під час проведення даної технологічної операції використовувалися лабораторні сита та керамічні ступки, однак вони не становлять небезпеки.

Розглянемо детальніше обладнання, що використовувалося під час виконання магістерської дисертації, а саме:

- а) прес RP-L023;
- б) трубчаста відновлювальна піч Siemens;
- в) електронно-променева установка СВ-112.

Гідравлічний прес RP-L023 під час пресування може досягати тиску до 1,2 ГПа. За такого високого тиску існує можливість розколу прес-форми та нанесення тяжких тілесних ушкоджень. Для унеможливлення отримання травм під час пресування на робочу частину преса накладають та закріплюють металевий заслін. Оскільки прес механічний, для запобігання потрапляння частин волосся чи одягу до рухомих частин варто використовувати спеціальний одяг. Використання металевого кожуха закриває механічні частини, що рухаються і створює безпечні умови для роботи працівника.

Відновлювальний відпал проводився у трубчастій електричній печі для відновлення металевих порошків та виробів з них виробництва компанії Siemens. Робоча температура печі лежить у межах від 200 °С до 1400 °С, під час виконання магістерської дисертації проводили відпал за трьох різних температур, а саме 750 °С, 950 °С та 1100 °С, за високих температур існує небезпека інтенсивного теплового випромінювання, також є значна небезпека опіків. У виробничих умовах з високою температурою і вологістю навколишнього середовища тепловіддача утруднена, організм людини може «перегрітися». Таке явище називають гіпертермією. Унаслідок перегрівання організму і втрати ним великої кількості рідини з потом можливе порушення водно-електролітного обміну, що проявляється судомною хворобою. Тому для захисту використовувалися захисні екрани для печей, а також спеціальний одяг згідно з ДСТУ EN 420-2017 [42], а також окуляри, та захисні килимки.

Піч має електричне живлення від трифазної мережі 380В. Для створення безпечних умов роботи обладнання заземлено та оснащено спеціальними табличками та попереджувальними написами. Дана установка відповідає вимогам ПУЕ-2017 [43].

Під час виконання даної магістерської дисертації спікання проводилося на установці СВ-112 яка комплектується стаціонарною гарматою потужністю до 15 кВт, двокоординатним столом Х–Х і Y–Y, переміщення 200 мм. Оскільки установка модифікована захисним склом то дія випромінювання зводиться до мінімуму за необхідності є можливість додати перерви у роботі оператора електронного променю. Під час роботи за установкою СВ-112 існує небезпека ураження електричним струмом оскільки для роботи електронного променю використовуються струми високої потужності, електробезпека є крайні важливою. Установка СВ-112 обладнана пристроєм захисного вимикання. Електронний промінь має заземлення та програмне забезпечення, що виключає можливість прийняття небезпечних рішень пов'язаних з режимами роботи установки.

Весь персонал, що обслуговує спеціальне обладнання періодично проходить інструктаж про безпеку, пов'язану з роботою з установками, та способи надання першої до медичної допомоги [40].

4.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

У приміщенні знаходяться негорючі речовини, однак проводять технологічні операції з виділенням тепла, утворенням іскор або полум'я. У технологічних операціях присутній бензин, однак його кількість низька, тож відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [44] приміщення є помірно пожежонебезпечним класу Г.

Під час проведення експериментів не використовувалися речовини чи процеси, що можуть привести до вибуху.

Для запобігання самозапалення пластифікаторів, що містять бензин чи горючі матеріали у своєму складі розроблено спеціальні правила для їх зберігання та використання [44]. Зберігати ці матеріали необхідно в металевих сейфах. Також при роботі з ними забезпечено надійну вентиляцію.

Під час виникнення можливих пожеж у лабораторії передбачені вогнегасники типу ОУ-5 та пожежні стенди. Для евакуації персоналу під час виникнення пожежі розміщено плани евакуації у відповідних місцях, який наведено на рисунку 4.1.

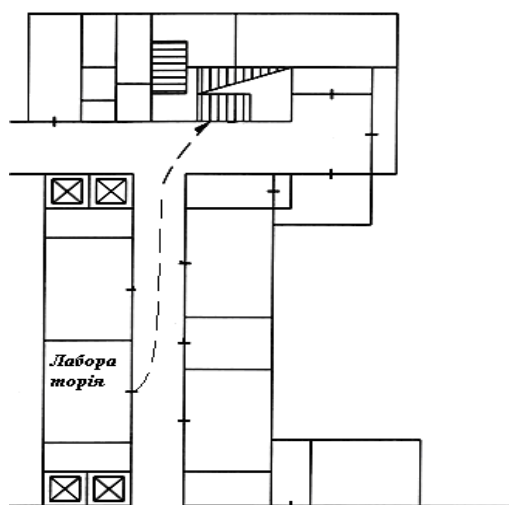


Рисунок 4.1 – План евакуації з приміщення

4.4 Висновки

Детально розглянувши технологічні операції, що були проведені у ході виконання магістерської дисертації з точки зору охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, можна зробити висновок, що всі технологічні операції відповідають нормам, що встановлені законодавством. Спеціальне обладнання має необхідні захисні деталі та елементи: сталевий кожух, попереджувальні написи, захисне вимкнення та інше.

Робочі місця – ергономічні, є можливість відпочинку та є спеціальні виділення місця для нагляду за обладнанням. Частина процесів повністю автоматизована. Устаткування виконане з якісних матеріалів. Самі технологічні процеси максимально знижують можливий контакт із небезпечними речовинами.

5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Під час виконання дослідження закономірностей отримання виробів на основі молібдену методом електронно променевого спікання використовувалося таке електричне обладнання як трубчаста піч для відновлення металевих порошків та виробів з них марки Siemens та електронно променева установка для спікання марки СВ-112.

У даному розділі проведемо розрахунок кількості електроенергії, необхідної для забезпечення роботи цеху.

Обсяг витрат електроенергії визначають на підставі вибору і розрахунку кількості технологічного обладнання, використання його встановленої потужності при запланованому режимі роботи :

$$\mathcal{E} = M \times \Phi_0 \times \eta_{\text{зв}} \times K_1 \times K_2, \quad (5.1)$$

де M – встановлена потужність обладнання, кВт;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$\eta_{\text{зв}}$ – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи (приймається рівним: для електричних печей – 0,6; для генераторів високочастотного нагріву – 0,8);

K_2 – коефіцієнт використання потужності (приймається рівним 0,7).

В умовах малотоннажних виробництв транспортувальне обладнання вибирають разом з основним, а його характеристики вносять у відомість основного обладнання.

Витрати енергії для санітарно-технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Розрахунок витрат енергії на освітлення для кожного приміщення виконують

на основі загального плану цеху. Вихідні данні для розрахунку: площа приміщення, необхідна освітлюваність і режим роботи освітлювальних пристроїв.

Витрати енергії на освітлення розраховують за формулою:

$$Q = \frac{S \times q \times \tau \times f}{1000}, \quad (5.2)$$

де S – освітлювальна площа, м^2 ;

q – поверхнева щільність теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

τ – число годин горіння на рік;

f – коефіцієнт одночасного горіння.

Величину q зазвичай приймають: для виробничих приміщень – від $11 \text{ Вт}/\text{м}^2$ до $15 \text{ Вт}/\text{м}^2$, для побутових і службових приміщень – $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Залежно від тривалості освітлювального періоду значення τ приймають рівним: для двозмінної роботи – 2500 год., для тризмінної роботи – 4700 год.

Коефіцієнт, який враховує одночасність горіння ламп, приймають: для виробничих прогонів – 0,8; для побутових та службових приміщень – 0,7.

За формулами 5.1 та 5.2 було проведено розрахунок обсягу витрат електроенергії на обладнання та освітлення виробничих приміщень, результати розрахунків витрат електроенергії зведено в таблиці 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Освітлювальна площа, м^2	Щільність теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$	Тривалість горіння на рік, год	Коефіцієнт одночасності горіння	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Виробнича лабораторія	54	11	2500	0,8	1188
Усього витрат, кВт·год					1188

6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Розрахунок усіх витрат на магістерську дисертацію, пов'язаних з виконанням даної теми, дає можливість встановити планову кошторисну вартість даної теми. Планування забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат з метою отримання найкращих результатів за найменших витрат.

Планова собівартість визначається за наступними статтями витрат:

- заробітна плата науково-дослідницького персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість спеціального обладнання для виконання МД;
- вартість матеріалів, необхідних для проведення МД;
- витрати на службові відрядження;
- інші прямі невраховані витрати по темі;
- накладні витрати.

6.1.1 Витрати на оплату праці

Витрати за цією статтею включають заробітну плату працівників усіх категорій, зайнятих виконанням робіт з даної теми.

Заробітна плата розраховується на основі даних про трудомісткість окремих робіт і посадових окладів виконавців цих робіт. Розрахунок ведеться в людино-днях.

Під час виконання даної магістерської роботи буде задіяно такі трудові ресурси: відповідальний виконавець, старший науковий співробітник, який приймає участь в усіх етапах дослідження та здійснює безпосередній контроль, інженер дослідник відповідальний за проведення експериментів, обробку та аналіз результатів, молодший науковий співробітник та лаборант приймають участь в дослідженні, до їх обов'язків входить забезпечення технічної бази дослідження,

налаштування та допомога в експлуатації обладнання, попередній аналіз результатів, консультації.

Перелік робіт та їх трудомісткість зведено в таблицю 6.1.

Денні зарплати визначаються як відношення місячного окладу до умовного місяця (для магістерської дисертації з п'ятиденним робочим тижнем складає 21,2 дня).

Перемножуючи середньоденну заробітну плату за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт, розраховується плановий фонд заробітної плати всіх виконавців.

Таблиця 6.1 – Розрахунок трудомісткості виконання магістерської дисертації

Етапи ДР	Трудомісткість людино-днів			
	Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник	Молодший науковий співробітник	Інженер-дослідник	Лаборант
Підготовчий етап	6	3	5	-
Проведення експерименту	15	7	35	34
Написання записки	7	-	5	-
Оформлення, перевірка та захист	5	-	5	-
Разом	33	10	50	34

Результати розрахунку фонду заробітної плати з теми зведено у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Розрахунок фонду заробітної плати виконавців теми

Посада	Трудовістість людино-днів	Місячний оклад, грн.	Денна заробітна плата, грн.	Сумарна заробітна плата за виконавцями, грн.
Відповідальний виконавець теми, старший науковий співробітник	33	11 627	548,4	18097,2
Інженер- дослідник	50	6000	283	14150
Лаборант	34	4173	196,8	6691,2
Технік	10	4873	229,9	2299
Разом				41237,4

6.1.2 Єдиний соціальний внесок

Сума єдиного соціального (B_C) визначаються у відсотках у відсотках від загального фонду заробітної плати виконавців з теми. Норматив відрахувань необхідно брати в розмірі 22% загального фонду заробітної плати.

Таким чином, єдиний соціальний внесок складе:

$$B_C = 41\,237,4 * 0,22 = 9\,072,23 \text{ грн.}$$

6.1.3 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі

Витрати на матеріали, які необхідні для проведення даної магістерської, вираховуються з ціни одиниці і загальної кількості використаного матеріалу. Результати розрахунків зведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Вартість матеріалів, необхідних для виконання ДР

Найменування матеріалів	Стандарт	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
Порошок Мо	ТУ 48-19-316-80	кг	0,1	1200	120
Пластифікатор	-	кг	0,01	350	3,5
Разом					123,5

Транспортно-заготівельні витрати складають 10 % від планової вартості використаних матеріалів, тоді загальні витрати по цій статті становлять:

$$Вм(заг) = 123,5 * 1,1 = 135,85 \text{ грн.}$$

6.1.4 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

В роботі використовуються вже існуюче обладнання: лабораторні терези, гідравлічний прес RP-L023, відновлювальна піч Siemens, електронно променева установка СВ-112, установка Rigaku Ultima IV.

Спеціальне устаткування для виконання ДР не закуповувалось.

6.1.5 Витрати на службові відрядження

Всі роботи проводились безпосередньо в лабораторіях Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» тому витрати на виробничо-наукові відрядження не передбачені.

6.1.6 Інші прямі невраховані витрати

Ця стаття поєднує в собі всі витрати на проведення магістерської дисертації, що не увійшли до попередніх статей (оплата спеціалістів з інших організацій, оплата консультацій, використання обладнання інших організацій та інше). Під час проведення даної роботи інші прямі невраховані витрати складають 10% від суми врахованих витрат на МД.

$$I_B = (41\,237,4 + 9\,072,23 + 135,85) * 0,1 = 5044,55 \text{ грн.}$$

6.1.7 Накладні витрати

До накладних витрат (H_B) відносять:

- а) заробітна плата адміністративна – управлінського, господарського та обслуговуючого персоналу з єдиним соціальним внеском;
- б) витрати на придбання експериментального спеціального обладнання та приладів;
- в) витрати по охороні праці та на техніку безпеки;
- г) утримання та експлуатація виробничих площ, приладів, устаткування та установок;
- д) витрати на воєнізовану охорону;
- ж) інші загальногосподарські та дослідницькі витрати.

За нормативами для НТУУ «КПІ» величина накладних витрат складає 20% від суми всіх прямих витрат по темі.

$$H_B = (41\,237,4 + 9\,072,23 + 135,85 + 5044,55) * 0,20 = 11098 \text{ грн.}$$

6.2 Планова кошторисна вартість магістерської дисертації

Зроблені розрахунки дозволяють визначити загальну планову кошторисну вартість виконання ДР. Плановий кошторис витрат по темі досліджень наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Планова кошторисна вартість ДР по темі

Назва статей	Умовне позначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Заробітна плата виконавців теми	ЗП	41 237,4	61,93	За розрахунками
Єдиний соціальний внесок	В _С	9 072,23	13,62	22% від ЗП
Вартість основних матеріалів	В _М	135,85	0,21	За розрахунками
Вартість спец. обладнання	В _{ОБ}	-	-	Не планується
Витрати на послуги сторонніх організацій	В _{СО}	-	-	Не планується
Інші прямі невраховані витрати	І _В	5 044,55	7,57	10% від суми врахованих прямих витрат
Накладні витрати	Н _В	11 098	16,67	20% від усіх прямих витрат по темі
Разом	В _{ДР}	66 587,63	100	Сума всіх попередніх статей

7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

7.1 Науково-технічна актуальність ДР

Впровадження електронно-променевої технології є одним з вирішальних факторів прискорення науково-технічного прогресу у енергетичному, важкому і транспортному машинобудуванні, літакобудуванні, медицині, приладобудуванні.

Розвиток і удосконалювання електронно-променевих пристроїв на шляху підвищення ступеню автоматизації, потужності і стабільності енергетичних, просторово-геометричних характеристик електронних пучків, довговічності приладів і пристроїв електронної техніки призводить до розвитку технологій виготовлення матеріал з особливими властивостями.

Молібден має високе значення температури плавлення і високу жаростійкість, що забезпечує стабільність його роботи в агресивних середовищах, при низьких та високих температурах і тому знаходить застосування в різних галузях науки і техніки. Установки технологічного призначення широко розвиваються для забезпечення можливостей обробки та пришвидшення виробництва молібдену.

Використання молібдену надає можливість позбутися ряду ефектів нестабільності, виготовлення молібдену методом електронно-променевого спікання забезпечує оптимальну пористість, геометрію і хімічну однорідність виробів, а також підвищити параметри виробництва за рахунок використання високоефективного електронного променя для виготовлення молібденових виробів

В Україні розвинуто літакобудування. Молібден широко застосовується такими компаніями як ДП «АНТОНОВ», ПАТ «Мотор Січ» та ДП «Дослідний завод зварювальних матеріалів Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України», а розвиток технології електронного променевого спікання молібдену дозволить збільшити ефективність виробництва, за рахунок зменшення часу та витрат на виготовлення деалей з молібдену.

Тому дослідження технології і закономірностей отримання молібдену методом електронно променевого спікання є досить важливим для розвитку науки та техніки в цілому.

7.2 Мета і завдання дипломної роботи

Метою даної роботи є дослідження закономірностей отримання молібдену методом електронно-променевого спікання, вивчення структури і властивостей отриманих зразків.

Для вирішення поставленої задачі необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз публікацій з теми і обґрунтувати напрями досліджень;
- розробити методику проведення дослідження;
- провести відпал компактів;
- провести спікання компактних заготовок;
- виготовити шліфи для мікроскопічних досліджень;
- дослідити мікроструктуру отриманих зразків;
- дослідити мікротвердість;
- провести рентгеноструктурний аналіз;
- обробити отримані дані та узагальнити результати.

7.3 Економічна ефективність ДР

Розрахунок очікуваного економічного ефекту магістерської дисертації необхідний для визначення доцільності проведення даної роботи. Однак, економічний ефект може бути розрахований тільки по магістерським роботам, які безпосередньо націлені на створення нових матеріалів, покращення параметрів та якості продукції, а також створення нових конструкцій тощо.

За основний показник ефективності фундаментальних досліджень беруть науково-технічний ефект. Науково-технічний ефект $E_{нт}$ пошукових та прикладних досліджень кількісно визначають узагальненим показником, який враховує рівень

часткових показників: новизну, перспективність та ступінь реалізованості наслідків дипломної роботи.

Узагальнений показник можна визначити за допомогою оцінок, виражених у балах:

$$E_{HM} = \sum_{i=1}^3 R_i * Q_i, \quad (7.1)$$

де R_j - коефіцієнт вагомості новизни (0.4), перспективності (0.2) та реалізованості наслідків НР (0.4);

Q - новизна, перспективність та реалізованість, балів.

Таблиця 7.5 – Оцінка науково-технічного ефекту ДР

Показник ДР	Характеристика результатів	Бали
Новизна	Техніко-економічні показники нової технології на галузевому рівні.	8
Перспективність	Технологія може бути впроваджена у порошковій металургії.	9
Реалізованість	Термін впровадження нової технології - до 6 - го року	8

Узагальнений показник розраховано за формулою 7.1.

$$E_{HT} = 8 * 0,4 + 9 * 0,2 + 8 * 0,4 = 8,2 \text{ балів.}$$

Розрахований показник свідчить про доцільність виконання магістерської дисертації по даній темі.

7.4 Висновки

Обґрунтована науково-технічна актуальність виконання досліджень по даній темі. Розраховано планово-кошторисну собівартість проведення ДР з урахуванням витрат всіх видів ресурсів.

Розраховано показник умовної економічної ефективності проведення роботи

8 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

8.1 Актуальність

У останні роки великого поширення серед організацій-початківців і різних об'єднань молодих вчених набули startup-проекти (стартапи). Стартап – це тільки-но створена компанія (можливо, навіть не є ще юридичною особою), яка знаходиться на стадії розвитку і будує свій бізнес або на основі нових інноваційних ідей, або на основі технологій, які щойно з'явилися. Для стартапу характерні: обмеженість початкових інвестицій; швидкий розвиток; низькі шанси на успіх. Основним документом, що характеризує стартап, є бізнес-план – обов'язковий письмовий документ, що визначає ділові можливості та перспективи подальшого розвитку, а також роз'яснює, як ці можливості можуть бути реалізовані наявною командою.

Для задоволення потреби машинобудування, металообробки та інших галузей де необхідні матеріали для обробки, а також забезпечення економії дорогих і дефіцитних марок сталі, що застосовуються під час виготовлення інструменту і деталей машин, необхідно розвивати та впроваджувати нові тверді сплави. Вони можуть забезпечити довговічність та надійність деталей машин та інструменту, що працюють в складних умовах експлуатації. Розробка та отримання твердих сплавів є дуже важливим завданням.

Останнім часом набуло поширення отримання матеріалів подібних до твердих сплавів методом спрямованої кристалізації, іскро-плазмового спікання та плакування порошків для додавання пластичної зв'язки, для подальшого спікання.

8.2 Мета і завдання стартап проекту

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції

стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

8.3 Опис ідеї проекту

У межах підпункту слід послідовно проаналізувати певні ідеї:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

У таблиці 8.1 наведено короткий опис ідеї стартап проекту.

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Отримання виробів на основі молібдену методом електронно променевого спікання	1) Застосування в ракето та літако будування 2) Виготовлення жаростійких та жароміцних матеріалів	1) Отримання необхідної форми виробу без додаткових операцій обробки; 2) Екологічна чистота процесу; 3) Збільшення швидкості виготовлення

У межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

У таблиці 8.2 наведено запланований варіант технологічного здійснення ідеї проекту.

Таблиця 8.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Отримання молібдену методом електронно променевого спікання	Електронно променеве спікання	Технологія наявна	Технологія доступна

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що розробка та реалізація даної технології не створює жодних перешкод, оскільки вона існує на ринку та доступна для реалізації.

8.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Сегмент споживачів: для аналізу попиту на ринку дослідження звуимо до рівня м. Києва.

Ринок споживачів – нішевий (вузький профіль – виробництва, які використовують матеріали з молібдену).

Канали збуту: використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазин).

Взаємодія зі споживачами: особисті контакти, по телефону, електронній пошті. Застосування програм лояльності. Із потенційними споживачами – підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, виставки, конференції.

Для визначення актуальності вкладення грошових та матеріальних ресурсів на впровадження даної технології варто зрівняти діючу облікову ставку НБУ та середню норму рентабельності ринку (20 %). З 25.10.2019 р. НБУ прийняло рішення про зниження облікової ставки до 15,5 %. Таким чином, рентабельність ринку є вищою, що свідчить про те, що даний проект є привабливим для інвестування.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи наведено в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Застосування легких тугоплавких матеріалів.	Виробництва, заводи	Новітня техніка та технології, які застосовуються; Швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; Надійність, низька пористість.	якість; допустима собівартість; надання чітких гарантій; швидкість виконання.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають, приведено в таблиці 8.4 та 8.5. Фактори в таблиці подано в порядку зменшення значущості.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю п'яти сил М. Портера) [47].

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції. Це:

- контурент, що вже є у галузі;
- потенційні конкуренти;
- наявність товарів-замінників;
- постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- споживачі.

Таблиця 8.4 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту, тим самим, знижуючи позиційний прибуток	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат (витрати на рекламу, організацію збуту, науково-дослідні й дослідно-конструкторські розробки (НДДКР)).
2	Обмежений ринок	Достатня кількість продукції, яка завоювала статус бренда	Скорочення обсягів продажів у результаті порушення договірних зобов'язань.

Продовження таблиці 8.4

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
3	Слабкий рівень технічної оснащеності	Зростання кількості потребуючої продукції, в свою чергу збільшення кількості та якості технічного обладнання	<ul style="list-style-type: none"> - втрати дохідності бізнесу в результаті зниження рівня репутації; - скорочення обсягів виробництва

Таблиця 8.5 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вихід на нові ринки або сегменти ринку	Можливості розширення виробництва, збуту.	Збільшує кількість продукції, що у свою чергу призводить до розширення виробничої діяльності
2	Розвиток НДДКР	Можливість розширення якості та швидкості вихідної продукції	Нові технології сприяють зменшенню собівартості послуги, а, відповідно, і її вартості для клієнтів; збільшенню обсягів продажу; створення/видозміна послуги.
3	Високий рівень технічної оснащеності	<p>Можливість вербування високо кваліфікаційних спеціалістів.</p> <p>Вихід на новий більш прибутковий ринок</p>	Збільшення якості та кількості продукції

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (табл. 8.6 та 8.7) – матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей [47].

Таблиця 8.6 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Слабкі та сильні сторони)

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
молодий і кваліфікований колектив; порівняно недорогі початкові матеріали; дуже широкий асортимент послуг, включаючи суміжні галузі; послуга дешевша наявних на ринку аналогів	брак власного устаткування; додаткові транспортні витрати; наявність на ринку компаній, які мають своїх покупців/клієнтів, і, відповідно, добру репутацію.

Таблиця 8.7 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Можливості та загрози)

Можливості (O):	Загрози (T):
посилення позиції на ринку; вихід на нові сегменти ринку; збільшення різноманітності підвищення кваліфікації персоналу в галузі сучасних технологій, менеджменту та маркетингу.	зростаюче конкурентний тиск; копіювання конкурентами; поява нових конкурентів з товарами-замінниками; захвачені частки ринку іншими компаніями перешкоджають залучення клієнтів.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на

ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору під час вибору товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод отримання молібдену дає можливість за мінімальних затрат підприємства виготовляти та випускати високо якісну та дешеву для клієнта продукцію.

8.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Структура ринкової стратегії, тобто рішень, що визначають взаємовідносини підприємства з ринком ресурсів, багато в чому аналогічна структурі товарно-ринкової стратегії підприємства. Так само як і у випадку товарно-ринкової стратегії, мова тут йде про двох сферах стратегічних рішень: по-перше, рішень, що визначають поведінку підприємства на ринках матеріальних факторів виробництва; по-друге, рішень про номенклатуру, обсяги та якість придбаних і використовуваних усередині підприємства ресурсів.

Ринкова стратегія підприємства розробляється на основі досліджень і прогнозування кон'юнктури товарного ринку, вивчення покупців, вивчення товарів, конкурентів та інших елементів ринкового господарства. Найбільш поширеними стратегіями маркетингу є:

- проникнення на ринок;
- розвиток ринку;
- розробка товару;
- диверсифікація.

Спираючись на основні характеристики послуги, варто визначитись з базовою стратегією розвитку підприємництва. Оскільки дана послуга передбачає менші витрати, порівняно із схожими видами послуг, варто застосувати стратегію

спеціалізації. Це є доцільним, оскільки підприємство може завоювати клієнтів як за допомогою меншої вартості наданих послуг, так і за допомогою диференціації.

Наступним кроком є вибір базової стратегії конкурентної поведінки, результати якої зведено в таблицю 8.8.

Таблиця 8.8 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Даний проект не є «першопрохідцем на ринку»	Компанія буде шукати нових споживачів, з розширенням продукції, компанія буде на вигідних умовах забирати споживачів у конкурентів	Компанія не буде копіювати характеристики товару, а спиратиметься лише на власні розробки	Стратегія спеціалізації

8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.9 підсумували результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Методика, яку планується використовувати, є унікальною. Тому задля забезпечення її від копіювання конкурентами, можна запатентувати методику.

Таблиця 8.9 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Виготовлення жароміцних частин ракет та літаків	Висока міцність, дешевизна, швидкість, якість	Новий метод який дозволить швидко отримувати вироби готової форми без потреби додаткової обробки.

8.7 Формування системи збуту

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту. Організація збуту в процесі аналізу відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує зворотний зв'язок виробництва з ринком, є джерелом інформації про попит та потреби споживачів. Ось чому розробку збутової політики кладуть в основу програми аналізу як щодо кожного продукту, так і по виробничому відділенню загалом. Якщо на основі розрахунків з'ясовують, що витрати на реалізацію нового товару дуже високі й не дають змоги забезпечити необхідний рівень рентабельності, то керівництво виробничого відділення може прийняти ухвалу про недоцільність подальшої розробки та впровадження у виробництво певного товару. Фахівці-аналітики можуть не лише визначити майбутню прибутковість виробу, а й ввести свої пропозиції щодо його вдосконалення і нових можливостей використання відповідних виробів у інших сферах.

Під час вибору програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами.

До завдань реклами відноситься, в першу чергу, інформування про відкриття підприємства, що запровадило унікальну послугу для зміцнення поверхні корпусів [47].

8.8 Висновки до розділу

Незважаючи на всі за і проти, розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей. Молібденові вироби отримані методом електронно променевого спікання дозволять значно підвищити міцність та щільність деталей. Також деталі з молібдену які не потребують додаткової обробки та здатні працювати за високих температур в агресивних середовищах відразу приверне увагу користувачів.

Стартап-проект має переваги над конкурентами, ідея є свіжою і має потенціал для розвитку, подальша імплементація і покращення технології призведе до підвищення рентабельності, що зробить проект більш привабливим для інвестицій.

ВИСНОВКИ

Досліджено закономірності отримання молибдену методом електронно-променевого спікання. У роботі вперше отримано молибден методом порошкової металургії з використанням електронного променя для спікання.

Висунуто гіпотезу про оптимальні параметри спікання, для зразків, що використовувалися під час дослідження закономірностей отримання молибдену методом електронно-променевого спікання.

Отриманні таким чином матеріали мають, пористість близько 10 %, а фазовий склад отриманих зразків містить у середньому 99,4 % молибдену, що відповідає значенням стандартних методів отримання до механічної обробки.

Металографічним аналізом встановлено, що структура отриманого молибдену значно залежить від режиму спікання.

Твердість молибдену отриманого методом електронно-променевого спікання лежить у межах від 35 HRA до 55 HRA у той час як катаний молибден має твердість 42 HRA.

Розроблений метод отримання молибдену має переваги над конкурентами, ідея є свіжою і має потенціал для розвитку, подальша імплементація і розвиток технології призведе до підвищення економічної ефективності технології.

CONCLUSIONS

The regularities of molybdenum production by electron beam sintering have been investigated. Molybdenum was first obtained by powder metallurgy using an electron beam for sintering.

The hypothesis of optimal sintering parameters was proposed for the samples used in the study of the patterns of molybdenum production by electron beam sintering.

The materials thus obtained have a porosity of about 10%, and the phase composition of the obtained samples contains an average of 99.4% of molybdenum, which corresponds to the values of standard methods of production before machining.

Metallographic analysis revealed that the structure of the molybdenum obtained depends significantly on the sintering mode.

The molybdenum hardness of the electron beam sintering method ranges from 35 HRA to 55 HRA while the rolled molybdenum has a hardness of 42 HRA.

The developed method of obtaining molybdenum has advantages over competitors, the idea is fresh and has the potential for development, further implementation and development of technology will lead to increase of economic efficiency of technology.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. American Metal Market [Електронний ресурс] / Fastmarkets редакція журналу «American Metal Market»; голов. ред. Р. Барет. – Лондон : «American Metal Market», 2009. – Режим доступу: <https://www.amm.com/Article/2494419/Nonferrous/Sprott-Moly-to-close-on-weak-price-outlook.html>. – Назва з екрану.
2. Поплавко Ю. М. Фізичне матеріалознавство [Текст] / Поплавко Ю. М., Воронов С. О., Якименко Ю. І. – К. : НТУУ «КПІ» 2011. – 372 с.
3. Кирилович В.А. Основи технологій обробки поверхонь деталей машин [Текст] / Кирилович В.А., Мельничук П.П., Яновський В.А. – Житомир : Видавець О.О. Євенок, 2017. – 266 с.
4. Мала гірнича енциклопедія [Текст] : у 3 томах / за ред. д-ра техн. наук Білецького В. С. – Донецьк : Донбас, 2004 - 2013.
Т. 3 : С - Я / [Альохін В. І. та ін.]. – Донецьк : Східний видавничий дім, 2013. – 642 с.
5. Никонов Н.В. Молибден. Свойства, применение, производство, продукция [Текст] / Н.В. Никонов. – М. : Мототехника, 2014. – 31 с.
6. Лабецька М. Т. Застосування 3D – Технологій в інклюзивному середовищі [Електронний ресурс] / М. Т. Лабецька, М. М. Гавенко. – Електронні текстові дані (1 файл : 600 Кб) // [Українська академія друкарства]. – 2017. – №1(55). – 8 с. – Режим доступу : http://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/95073/pdf_42. – Назва з екрану.
7. Bousquet A. Additiv tillverkning i metall och topologioptimering / A. Bousquet. – Eskilstuna : Mälardalens högskola, 2017. – 98 с.
8. LME to launch minor metals contracts in H2 2009 [Електронний ресурс] / електронне фахове видання; голов. ред. М. Ебботт – Лондон : «London metal exchange», 2012. – Режим доступу: <https://web.archive.org/web/20120722014344/http://www.lme.com/6241.asp>. – Назва з екрану.

9. AZO Materials [Електронний ресурс] / AZOM редакція журналу «AZO Materials»; голов. ред. Г. Міллер. – Манчестер: «AZO Materials», 2001. – Режим доступу: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=616>. – Назва з екрану.
10. Considine, G. D. Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry [Text] / G. D. Considine. – New York : Wiley-Interscience, 2005. – 1040 p.
11. Smallwood R. E. Refractory metals and their industrial applications [Text] / R. E. Smallwood. – New York : ASTM International, 1984. – 99 p.
12. Cubberly W. H. Tool and manufacturing engineers handbook [Text] / W. H. Cubberly, R. Bakerjian. – Michigan : Society of Manufacturing Engineers, 1989. – 421 p.
13. Fierro J. G. L. Metal Oxides, Chemistry and Applications [Text] / J. G L. Fierro. – Berkeley, California : CRC Press, 2006. – 455 p.
14. Emsley J. Nature's Building Blocks [Text] / J. Emsley. – Oxford : Oxford University Press, 2001. – 266 p.
15. Зеликман А.Н. Молибден [Текст] / А.Н Зеликман – М. : Metallurgy, 1970. – 320 с.
16. Порошки металеві. Методи визначення вмісту кисню відновлюванням [Текст] : ДСТУ ISO 4491-4:1989. – [Чинний від 2016-07-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2013. – 22 с.
17. Matsumoto T. Introduction to single crystal X-ray analysis XIV. Model construction and refinement, and evaluation of results [Електронний ресурс] / T. Matsumoto. – Електронні текстові дані (1 файл : 584 Кб) // [Rigaku Journal]. – 2019. – №35. – С. 15. – Режим доступу : <https://www.rigaku.com/ru/downloads/rigaku-journal>. – Назва з екрану.
18. Горелик С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ [Текст] / С. С. Горелик. – М : МИСИС, 1970. – 366 с.
19. Металеві матеріали визначення твердості за Роквеллом [Текст] : ДСТУ ISO 6508-1:2013. – [Чинний від 2013-11-29]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2013. – 32 с.

20. Leitner K. Grain boundary segregation engineering in as-sintered molybdenum for improved ductility [Text] / K. Leitner, D. Lutz, W. Knablb // Scripta Materialia. – 2018. – Vol. 156. – P. 60–63.
21. Zhangjian Z. Fabrication of fine grained molybdenum by fast resistance sintering under ultra-high pressure [Text] / Z. Zhangjian, D. Nan, W. Hui // Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – Vol. 782. – P. 899–904.
22. Fu W. Influence of High-Temperature Compression on Microstructure and Properties of Sintered Molybdenum [Text] / W. Fu, Z. Zenglin // Physics and Engineering of Metallic Materials : Chinese Materials Conference, 2018. P. 73–84.
23. Yafang H. Physics and Engineering of Metallic Materials [Text] / H. Yafang. – Xiamen : Beijing Jiaotong University, 2018. – 314 p.
24. William Z. G Molybdenum Sinter-Cladding of Solid Radioisotope Targets [Text] / Z. G. William, R. J Richard. – Vancouver : University of British Columbia, 2019. – 112 p.
25. Молоковский С. И. Интенсивные электронные и ионные пучки [Текст] / С. И Молоковский, А. Д. Сушков. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
26. Опейда Й. Глосарій термінів з хімії [Текст] / Й. Опейда, О. Швайка. – Донецьк : Вебер, 2008. – 758 с.
27. Гынгазов С. А. О возможности спекания циркониевой керамики пучком низкоэнергетических электронов [Текст] / С. А. Гынгазов, Т. С. Франгульян, А. К. Гореев, А. С. Климов // Известия вузов. Физика. – 2011. – Т. 54. С. 355–359.
28. Виноградов М.И. Вакуумные процессы и оборудование ионно - и электронно-лучевой технологии [Текст] / М. И. Виноградов, Ю. П. Маишев. – М. : Машиностроение, 1989. – 56 с.
29. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук [Текст] / А.М Степанчук. – К. : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2006. – 353 с.
30. Мазур В. И. Введение в теорию сплавов [Текст] / В. И. Мазур, А. В. Мазур. – Днепропетровск : Лира ЛТД, 2009. – 264 с.

31. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів [Текст] / А. М. Степанчук. – Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 336 с.
32. Степанчук А. М. Отримання та властивості гранул з тугоплавких сполук для створення композиційних матеріалів [Електронний ресурс] / А. М. Степанчук, М. Б. Шевчук, С. В. Мазаєв. – Електронні текстові дані (1 файл : 759.15 Кб) // [Наукові вісті НТУУ “КПІ”]. – 2010. – №6. – С. 51–60. – Режим доступу : <http://bulletin.kpi.ua/node/1128>. – Назва з екрану.
33. Кисла Г. П. Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук : навчальний посібник [Текст] / Г. П. Кисла, П. І. Лобода, В. Є. Федорчук, М. О. Сисоєв. – К. : Центр учбової літератури, 2017. – 320 с.
34. Славинский М. П. Физико-химические свойства элементов [Текст] / М. П. Славинский. – М. : ГНТИЛЧЦМ, 1952. – 765 с.
35. Рипан Р. Неорганическая химия. Химия металлов [Текст] / Р. Рипан, И. Четяну. – Москва : Мир, 1972. – 871с.
36. Лахтин Ю. М. Материаловедение : Учебник для высших технических учебных заведений : 3-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
37. Ткачук К. Н. Основы охорони праці [Текст] / К. Н. Ткачук. – К. : Основа, 2006. – 448 с.
38. Про затвердження Вимог безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками [Текст] : Z0097-18. – [Чинний від 2017-12-28]. – К. : ДП «УкрНДНЦ, 2017. – 9 с.
39. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві [Текст] / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров. – К. : Основа, 2014. – 352 с.
40. Система стандартів безпеки труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам [Текст] : ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009. – [Чинний від 2009-02-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2009. – 65 с.

41. Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки [Текст] : ДСТУ 7234:2011. – [Чинний від 2011-11-29]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2011. – 34 с.
42. Рукавички захисні. Загальні вимоги та методи випробування [Текст] : ДСТУ EN 420:2017. – [Чинний від 2018-02-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 35 с.
43. Правила улаштування електроустановок [Текст] : ПУЕ-2017. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
44. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1 – 36:2016. – [Чинний від 2017-01-01]. – К. : Мінрегіон України, 2016. – 25 с.
45. Безпечність машин. Елементи безпечності систем керування. Загальні принципи проектування [Текст] : ДСТУ EN 954-1:2003. – [Чинний від 2003-11-29]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2003. – 22 с.
46. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація [Текст] : ДСТУ 7239:2011. – [Чинний від 2011-06-14]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2011. – 45 с.
47. Bezrukova T. L. Methodological approach to the identification of predictive models of socio-economic processes for investment and innovative development of enterprises [Text] / T. L. Bezrukova, S. S. Morkovkina, B. B. Russia, I. I. Shanin, E. G. Popkova // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Т. 27, № 11. – С. 1443–1449.
48. Безрукова Т. Л. Современное состояние и развитие стартапов [Текст] / Л.Т. Безрукова, Ю.Н. Степанова, И.И. Шанин, Ю.В. Дуракова //Успехи современного естествознания. Экономические науки. –2015. – №1. – С. 95–97.
49. Stepanoff O. V Finite-element model of effective thermal conductivity of porous Mo Body / Stepanoff O. V., Romanenko Yu. M., Bogomol Yu. I., Brychko S. O. // HighMathTech : 6th International conference October 28–30 : thesis. – Kyiv, 2019. – P. 23.